



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

***“SUSTITUCIÓN DEL VIDRIO CRUDO A BASE DE ÓXIDO DE PLOMO POR
UNO FRITADO EN LA ELABORACIÓN DE TEJAS EN EL SECTOR SAN
JOSÉ DE BALZAY Y RACAR”***

Trabajo de tesis previo a la obtención del título de
Ingeniera Química

Autoras:

Andrea Nataly Álvarez Delgado
Gabriela Marcela Chacho Uyaguari

Directora:

Ing. Sandra Catalina Peñaherrera Palacios.

Cuenca-Ecuador

2015

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo sustituir el vidrio crudo a base de óxido de plomo, usado en el proceso de vidriado de tejas en los sectores de San José de Balzay y Racar de la ciudad de Cuenca, por un vidrio fritado que no libere plomo. En estos sectores se reconoce dos grupos, uno artesanal y otro semi-mecanizado.

Las personas se encuentran en contacto directo con el óxido de plomo, siendo éste el causante de enfermedades a nivel de todo el organismo, afectando a todos los miembros del proceso productivo: niños, adultos y ancianos. Usar un vidrio fritado disminuye riesgos en la salud, así como la contaminación del medio ambiente.

Se partió de un levantamiento de línea base, el análisis de materias primas usadas, búsqueda de fritas en el mercado local, con las que se ejecutaron pruebas previas de acople pasta-vidrio. Para optimizar la dosificación de las pastas se usó el Diseño de mezclas de Vértices Extremos para los semi-mecanizados y otro de proporciones para los artesanales.

De las fritas encontradas en el mercado, dos de ellas tuvieron los mejores resultandos con las nuevas pastas, aunque estas presentaron el defecto de craquelado en el vidriado, por lo que se realizó una optimización de las pastas. Con los resultados obtenidos, se reduce el problema de salud pública generado por el uso del óxido de plomo, además de mejorar las características técnicas como la resistencia a la flexión y absorción de agua, explicada en la norma INEN 990 para tejas.

Palabras claves: teja, arcilla, vidrio crudo, óxido de plomo, fritas, resistencia a la flexión, absorción de agua, optimización.

ABSTRACT

This paper aims to replace the lead glass, used in the process of glazed tiles in the areas of San José de Balzay and Racar in Cuenca, by a glass frit that does not release lead. In these sectors it recognizes two groups, one artisan and a semi-mechanized.

In this process people are in direct contact with lead oxide, which is the cause of diseases at the level of the whole organism, affecting all members of the production process, including children, adults and seniors. Use a fritted glass decreases health risks and environmental pollution.

To carry out this work, it was necessary to realize a baseline survey, analysis of raw materials used, search fritted glasses in the local market, realize previous tests paste-glass coupling. To optimize dosages, we apply a Design Extreme Vertices mixtures for semi-mechanized and another for small-scale proportions for artisans.

Two fritted glasses had the best results with the new dosage, although they showed crazing defect in the glaze, whereby a new optimization was performed. The results, will help to reduce the public health problem produced for the use of lead oxide and improve the technical characteristics of the product, as flexural strength and water absorption, established by the Ecuadorian INEN 990 standard.

Keywords: tile clay, crude glass, lead oxide, frit, flexural strength, water absorption, optimization.



INDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	17
1 CAPITULO 1: GENERALIDADES	19
1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	19
1.1.1 Plumbosis	20
1.1.2 Factores de riesgo	21
1.1.3 Síntomas de plumbosis	21
1.1.4 Prevención.....	22
1.2 TEJAS CERÁMICAS: GENERALIDADES	22
1.2.1 Definición de teja:	22
1.2.2 Tejas vidriadas:.....	22
1.2.3 Clasificación de tejas	22
1.3 LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE SOCIO - ECONÓMICO Y TÉCNICO	24
1.3.1 SECCIÓN I. INFORMACIÓN PERSONAL	25
1.3.2 SECCIÓN II PRODUCCIÓN:	25
1.3.3 SECCIÓN III. TECNOLOGÍA	28
1.3.4 SECCIÓN IV. INFORMACIÓN SOCIAL:.....	30
1.3.5 SECCIÓN V. SEGURIDAD OCUPACIONAL	32
1.3.6 SECCIÓN VI. INFORMACIÓN ADICIONAL	34
1.4 ESTUDIO DE LA TEMPERATURA DE LOS HORNOS ARTESANALES	35
1.5 ELABORACIÓN DE TEJAS.....	37
1.5.1 Método artesanal.....	37
1.5.2 Método semi-mecanizado.....	42
1.6 ARCILLAS: GENERALIDADES.....	45
1.6.1 Definición de Arcilla:	45
1.6.2 Clasificación de las arcillas	46
1.7 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS.....	48
1.8 ARCILLAS PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS	50
1.9 VIDRIOS	51
1.9.1 Naturaleza del vidriado	51
1.9.2 Vidrios crudos.....	52
1.9.3 Óxido de plomo	52



1.9.4	Fritas.....	53
1.9.5	Propiedades deseadas de los vidriados	54
2	CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y PASTAS USADAS EN LOS SECTORES SAN JOSE DE BALZAY Y RACAR.....	55
2.1	ANÁLISIS QUÍMICO	55
2.2	SECADO	57
2.2.1	Tipos de agua en el sistema:	57
2.2.2	Contracción al secado (%CS)	57
2.2.3	Contracción a la quema (%CQ).....	58
2.2.4	Contracción total(%CT).....	59
2.3	GRANULOMETRÍA.....	60
2.4	PLASTICIDAD.....	68
2.4.1	Límites de Atterberg.....	68
2.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE MATERIAS PRIMAS	71
2.6	REQUISITOS ESTABLECIDOS PARA LAS TEJAS.....	72
2.6.1	Resistencia a la flexión de tejas actuales	73
2.6.2	Absorción de agua de tejas actuales	74
2.7	Discusión de resultados de tejas elaboradas actualmente.....	75
3	CAPITULO 3: DISEÑO EXPERIMENTAL, ESTUDIO DE ACOUPLE PASTA-VIDRIO	77
3.1	BÚSQUEDA DE FRITAS EN EL MERCADO LOCAL.....	77
3.2	ANÁLISIS QUÍMICO DE ESMALTES.....	77
3.3	PRUEBAS PREVIAS DE LAS FRITAS ENCONTRADAS	79
3.4	DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	79
3.4.1	Definiciones básicas	80
3.4.2	Planeación y realización	81
3.4.3	Selección del diseño	82
3.4.4	Diseño de vértices extremos	82
3.4.5	Diseño aplicado para el sector semi-mecanizado	84
3.4.6	Análisis de la varianza.....	89
3.4.7	Diseño aplicado para el sector artesanal	96
3.5	ACOPLE PASTA-VIDRIO	99
4	CAPITULO 4: OPTIMIZACIÓN DE LA PASTA	105
4.1	PRIMERA PRUEBA.....	106
4.2	SEGUNDA PRUEBA	108



4.3	TERCERA PRUEBA	111
4.4	CUARTA PRUEBA	113
4.5	DILATACIÓN TÉRMICA DE LAS PASTAS SELECCIONADAS	116
5	CAPITULO 5: VALIDACIÓN EN CAMPO	118
5.1	PROCESO DE VALIDACIÓN PARA LAS TEJAS ARTESANALES	118
5.2	PROCESO DE VALIDACIÓN PARA LAS TEJAS SEMI-MECANIZADAS.....	119
5.3	QUEMA Y VIDRIADO DE TEJAS ARTESANALES Y SEMI-MECANIZADAS	120
5.4	PRUEBAS QUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL PRODUCTO FINAL.....	124
5.4.1	Análisis de lixiviación plomo.....	124
5.4.2	Pruebas de absorción de agua.	125
5.4.3	Pruebas de resistencia a la Flexión	125
5.4.4	Discusión de resultados.....	126
5.5	RECOMENDACIÓN NUEVA FRITA	128
5.6	ANÁLISIS DE COSTOS	129
	CONCLUSIONES	133
	RECOMENDACIONES	136
	ANEXOS	139
	Bibliografía	189

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1. Dimensiones promedio de tejas elaboradas actualmente, así como las que especifica la Norma INEN 986</i>	24
<i>Tabla 1.2. Categoría del productor</i>	25
<i>Tabla 1.3. Vidrios usados en tejas</i>	26
<i>Tabla 1.4. Combustible utilizado en la quema</i>	27
<i>Tabla 1.5. Tipo de horno y capacidad</i>	28
<i>Tabla 1.6. Posibilidad de sufrir un accidente en la tejera</i>	34
Tabla 1.7. Lugar de obtención de la materia prima para la elaboración de tejas	34
Tabla 2.1 Resultados del Análisis Químico de cada arcilla	56
Tabla 2.2 Resultados de contracción al secado y a la quema de cada arcilla	59
Tabla 2.3 Resultados de contracción al secado y a la quema de cada pasta	60
Tabla 2.4 Resultados de granulometría de la arcilla Morada	61
Tabla 2.5 Resultados de granulometría de la arcilla Cera o Fina	62
Tabla 2.6 Resultados de granulometría de la arcilla Arenosa de San Miguel	63
Tabla 2.7 Resultados de granulometría de la arcilla Arenosa de Buenos Aires	64
Tabla 2.8 Resultados de granulometría de la arcilla Roja de Cumbe	65
Tabla 2.9 Resultados de granulometría de la arcilla Roja de Buenos Aires	66
Tabla 2.10 Índice de plasticidad de arcillas usadas en la elaboración de tejas	71
Tabla 2.11 Índice de plasticidad de mezcla actual usadas en la elaboración de tejas	71
Tabla 2.12 Requisitos de resistencia a la flexión de tejas	73
Tabla 2.13 Requisitos de absorción de agua de las tejas	73
Tabla 2.14 Resultado de la resistencia a la flexión en tejas elaboradas actualmente	74
Tabla 2.15 Resultado de absorción de agua en tejas elaboradas actualmente	75
Tabla 3.1 Fritas encontradas en el mercado	77
Tabla 3.2 Resultado de Análisis Químico de vidrios crudos utilizados actualmente y fritas encontradas en el mercado local	78
Tabla 3.3 Matriz de diseño para el proceso semi-mecanizado	87
Tabla 3.4 Resultados obtenidos con cada uno de los puntos experimentales para el proceso semi-mecanizado	88
Tabla 3.5 Valoración de las placas formadas con cada tratamiento semi-mecanizado	89
Tabla 3.6 Tabla ANOVA	90
Tabla 3.7 Matriz de diseño para el proceso artesanal	96
Tabla 3.8 Resultados obtenidos con cada uno de los puntos experimentales para el proceso artesanal	97
Tabla 3.9 Valoración de las placas formadas con cada experimento artesanal	97
Tabla 3.10 Diferencia de acople pasta-vidrio EFA-80	103
Tabla 3.11 Diferencia de acople pasta-vidrio A5	103
Tabla 4.1 Contracción de pastas pasadas por una criba de 1mm, frita A5-CT 8200	106
Tabla 4.2 Contracción de pastas pasadas por una criba de 1mm, frita EFA-80	107
Tabla 4.3 Contracción de pastas pasadas por una criba de 0,5 mm, frita A5-CT 8200	109
Tabla 4.4 Contracción de pastas pasadas por una criba de 0,5 mm, frita EFA-80	110

Tabla 4.5 Dosificación de pastas en la elaboración de tejas con 10% de sílice.	111
Tabla 4.6 Contracción de pastas con 10% de sílice pasadas por una criba de 1 mm, frita A5-CT 8200.	111
Tabla 4.7 Contracción de pastas con 10% de sílice pasadas por una criba de 1 mm, frita EFA-80.	112
Tabla 4.8 Contracción de pastas con 10% de sílice pasadas por una criba de 0,5 mm, frita A5-CT 8200.	114
Tabla 4.9 Contracción de pastas con 10% de sílice pasadas por una criba de 0,5 mm, frita EFA-80.	115
Tabla 4.10 Diferencia de acople pasta seleccionada-vidrio.	117
Tabla 5.1 Absorción de agua de las tejas artesanales y semi-mecanizadas.	125
Tabla 5.2 Resistencia a la flexión de tejas artesanales y semi-mecanizadas.	126
Tabla 5.3 Costos de materias primas en el proceso de vidriado en el caso de los artesanales, usando vidrio crudo.	130
Tabla 5.4 Costos de materias primas en el proceso de vidriado en el caso de los artesanales, usando vidrio fritado.	130
Tabla 5.5 Costos de materias primas para los semi-mecanizados, usando vidrio crudo.	131
Tabla 5.6 Costos de materias primas para los semi-mecanizados, vidriadas usando fritas.	131

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Dimensiones de una teja.....	23
Figura 1.2 Porcentaje de arcillas usadas por los artesanos en la elaboración de tejas.	26
Figura 1.3 Lugar de obtención de madera utilizada como combustible.	27
Figura 1.4 Tipo de horno.....	28
Figura 1.5 Implementación de cambios.....	29
Figura 1.6 Razones por la cual se recomienda estas mejoras.	29
Figura 1.7 Porcentaje de hijos en una familia.	30
Figura 1.8 Porcentaje de hombres en la unidad productiva.....	31
Figura 1.9 Porcentaje de mujeres en la unidad productiva.....	31
Figura 1.10 Relación del trabajo con la salud de los productores.....	32
Figura 1.11 Relación del trabajo con la salud de los productores.....	32
Figura 1.12 Elementos de protección que se utilizan por los artesanos.	33
Figura 1.13 Curva de Temperatura de Bizcocho vs. Tiempo.....	36
Figura 1.14 Curva de Temperatura de Vidriado vs. Tiempo.....	36
Figura 1.15 Almacenamiento de materia prima en el terreno del propietario.....	37
Figura 1.16 Mezclado de arcillas en un noque con la ayuda de caballos.	38
Figura 1.17 Mezclado final a mano antes de elaborar tejas.	38
Figura 1.18 Formación de la teja artesanalmente.	39
Figura 1.19 Perfilado de la teja a mano.....	39
Figura 1.20 Horno artesanal en proceso de quema y sistema de calentamiento cargado con combustible (desechos de madera).....	40
Figura 1.21 Ubicación de las tejas bizcochadas en el horno artesanal.	41
Figura 1.22 Colocación del vidrio crudo a base de óxido de plomo sobre tejas artesanales.	41
Figura 1.23 Colocación de las tejas vidriadas en el horno artesanal.	42
Figura 1.24 Arcillas pasando por el tornillo sin fin de la extrusora y teja formada saliendo de la boca de la extrusora.....	43
Figura 1.25 Tejas semi-mecanizadas vidriadas.	44
Figura 1.26 Colocación de vidrio crudo a base de óxido de plomo sobre teja semi- mecanizadas.	44
Figura 1.27 Tejas semi-mecanizadas vidriadas.	45
Figura 1.28 Estructuras atómicas básicas de arcilla.....	46
Figura 2.1 Variación del rendimiento del secado en función del tiempo.	58
Figura 2.2 Equipo para determinar el límite líquido.	69
Figura 2.3 Determinación del límite plástico.....	69
Figura 2.4 Diagrama de plasticidad según límites de Atterberg.	70
Figura 3.1 Pruebas previas realizadas en tejas artesanales (superiores) y semi- mecanizadas (inferiores) con cada frita.....	79
Figura 3.2 Representación de un diseño de vértices extremos para tres componentes con su polígono gris limitado por las restricciones.	83
Figura 3.3 Efectos de la dilatación térmica en pasta y vidrio.....	101
Figura 4.1 Molino de martillos empleada para moler las arcillas.	105

<i>Figura 4.2 Partes de la criba del molino de martillos.</i>	106
<i>Figura 4.3 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 1,0mm vidriadas con A5-CT 8200.</i>	107
<i>Figura 4.4 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 1,0mm vidriadas con EFA-80.</i>	108
<i>Figura 4.5 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm vidriadas con A5-CT 8200.</i>	109
<i>Figura 4.6 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm vidriadas con EFA-80.</i>	110
<i>Figura 4.7 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 1,0mm, añadido el 10% de sílice, vidriadas con A5-CT 8200.</i>	112
<i>Figura 4.8 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm, añadido el 10% de sílice, vidriadas con EFA-80.</i>	113
<i>Figura 4.9 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm, añadido el 10% de sílice, vidriadas con A5-CT 8200.</i>	114
<i>Figura 4.10 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm, añadido el 10% de sílice, vidriadas con EFA-80.</i>	115
<i>Figura 5.1 Tejas formadas a mano para la validación.</i>	119
<i>Figura 5.2 Tejas formadas en la extrusora.</i>	119
<i>Figura 5.3 Tejas artesanales y semi-mecanizadas con el esmalte EFA-80 y A5-8200.</i>	120
<i>Figura 5.4 Colocación de las tejas en la cuarta cama del horno.</i>	121
<i>Figura 5.5 Curva de Temperatura de Vidriado vs. Tiempo para la validación.</i>	121
<i>Figura 5.6 Segunda quema en el horno artesanal de Don Rodrigo Sinchi.</i>	122
<i>Figura 5.7 Resultado de tejas artesanales vidriadas con la frita EFA-80 y A5-8200.</i>	122
<i>Figura 5.8 Resultado de tejas semi-mecanizadas vidriadas con la frita EFA-80.</i>	123
<i>Figura 5.9 Resultado de tejas semi-mecanizadas vidriadas con la frita A5-8200.</i>	123
<i>Figura 5.10 Ruptura transversal de la teja.</i>	126
<i>Figura 5.11 Teja vidriada con la frita 8220.</i>	129



Universidad de Cuenca
Cláusula de derechos de autor

Yo, *Andrea Nataly Álvarez Delgado*, autoras de la tesis "Sustitución del vidrio crudo a base de óxido de plomo por uno fritado en la elaboración de tejas en el sector San José de Balzay y Racar", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Química. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 8 de diciembre de 2015

Andrea Nataly Álvarez Delgado

C.I: 0106523269



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual

Yo, *Andrea Nataly Álvarez Delgado*, autora de la tesis "Sustitución del vidrio crudo a base de óxido de plomo por uno fritado en la elaboración de tejas en el sector San José de Balzay y Racar", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 8 de diciembre de 2015

Andrea Nataly Álvarez Delgado

C.I: 0106523269



Universidad de Cuenca
Cláusula de derechos de autor

Yo, *Gabriela Marcela Chacho Uyaguari*, autora de la tesis "Sustitución del vidrio crudo a base de óxido de plomo por uno frito en la elaboración de tejas en el sector San José de Balzay y Racar", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Química. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 8 de diciembre de 2015

Gabriela Marcela Chacho Uyaguari

C.I: 0105629471



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual

Yo, *Gabriela Marcela Chacho Uyaguari*, autora de la tesis "Sustitución del vidrio crudo a base de óxido de plomo por uno fritado en la elaboración de tejas en el sector San José de Balzay y Racar", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 8 de diciembre de 2015

Gabriela Marcela Chacho Uyaguari

C.I: 0105629471



AGRADECIMIENTOS

Queremos dar gracias a Dios por colmar de bendiciones nuestras vidas, gracias a él esta meta está cumplida y se ha logrado contribuir a un bien social.

A nuestros padres quienes han sido un pilar fundamental para nuestra formación tanto personal como profesional.

A la Ingeniera Catalina Peñaherrera, directora de nuestra tesis, por trasmitirnos sus conocimientos, orientarnos y motivarnos para ejecutar y concluir éste trabajo, por ser un gran ejemplo de responsabilidad y sentido social.

A la Comisión de Gestión Ambiental del GAD Municipal del cantón Cuenca, de manera especial a la Arquitecta Nélida Cabrera y la Ingeniera Sandra Gavilanes representante de Swisscontact por brindarnos su apoyo en la realización de este proyecto.

Al Sr. Rodrigo Sinchi y su familia por abrirnos las puertas de su taller e integrarnos en el proceso de elaboración de tejas y brindarnos el apoyo necesario en todo lo requerido.



DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado en primer lugar a Dios, que ha sabido guiarme todos los días de mi vida y me ha dado fortaleza y sabiduría para afrontar los problemas.

De la misma manera a mi mami Celina, que supo formarme con buenos valores, sobre todo humildad, que con su lucha diaria pudo sacarme adelante, sus sacrificios se ven reflejados ahora, al convertirme en profesional.

A mis hermanos Johanna y Mateo que han estado en los buenos y malos momentos sacándome una sonrisa, dándome su apoyo para que siga adelante.

Y al resto de mi familia que ha contribuido con un granito de arena para hacer este sueño realidad.

Marcela Chacho U.



DEDICATORIA

Este trabajo lo quiero dedicar a Dios, por haberme dado la oportunidad de aplicar los conocimientos que he adquirido a lo largo de mi vida universitaria en este proyecto, por darme sabiduría y ser mi guía en cada etapa de mi vida.

A mi madre Fabiola y mi padre Marcelo, por su apoyo incondicional, sus consejos y enseñarme a seguir adelante pese a las dificultades que se presenten, por los valores que implantaron en mí y me formaron.

A mis hermanos, por su apoyo, alegrar momentos difíciles y siempre recordarme quien soy y mi capacidad. A toda mi familia y amigos que estuvieron involucrados en éste proceso.

Nataly Alvarez D.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos, en la ciudad de Cuenca, en el sector San José de Balzay y Racar se ha producido tejas de forma artesanal, actividad que se ha transmitido de generación en generación. Con el paso del tiempo han implementado cambios en su elaboración, consiguiendo un mejor producto; sin embargo, a los fabricantes actualmente se los ha clasificado de dos maneras: Artesanales a los grupos de personas que realizan esta actividad de manera manual y Semi-mecanizados a aquellos que han implementado algún tipo de maquinaria en el proceso.

Esta ciudad se caracteriza por el uso de tejas vidriadas en los techos de casas y edificios, el problema radica en que, tanto los productores artesanales como semi-mecanizados, utilizan un vidrio crudo a base de óxido de plomo para este proceso, el mismo que es altamente tóxico para el ser humano, generando enfermedades en los sistemas: respiratorio, digestivo, neumológico y óseo, también es contaminante en todos los componentes del ambiente (aire, agua y suelo). Los productores, al no tener conocimiento de estos efectos, no toman las debidas precauciones y trabajan sin cuidado involucrando a todas las personas de los grupos familiares que realizan esta actividad, siendo niños, mujeres y ancianos los más vulnerables.

Es por esta razón que el GAD Municipal del cantón Cuenca, preocupado por mejorar la calidad de vida de estas personas, a través de la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) ha decidido firmar un convenio con la Universidad de Cuenca para realizar este proyecto, cuyo principal objetivo es el de sustituir el vidrio crudo a base de óxido de plomo por una frita carente de él, o si lo contiene que no lo libere.

Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo un levantamiento de información en los sectores indicados para conocer las condiciones de trabajo, las materias primas utilizadas y como se manipula estos materiales, se realizó un monitoreo



de temperaturas tanto para el proceso de bizcochado (primera quema de la teja sin vidrio, a 650°C) como para el vidriado (segunda quema de la teja ya bizcochada, cubierta con esmalte, a 850°C), en un horno del sector Los Lirios y del sector Pan de Azúcar, información que fue el punto de partida; se realizó la búsqueda en el mercado local de fritas que se acoplan a las temperaturas de vidriado que alcanzan los hornos artesanales.

Se desarrolló un diseño experimental de mezclas para cada uno de los sectores con el fin de obtener las dosificaciones que tengan un buen acople con las fritas mencionadas, las cuales, luego de varios ensayos se optimizaron hasta alcanzar el mejor acople posible sin realizar cambios bruscos en el proceso.

El principal beneficio de trabajar con estos sustitutos es que se elimina el riesgo en la salud de los tejeros y sus familiares, mejorando así su calidad de vida al no estar expuestos a productos tóxicos, además se tendrán tejas de mejor calidad y características técnicas.

Para llevar a cabo este proyecto se cuenta con el apoyo de Swisscontact, organización que tiene un convenio firmado desde el año 2012 con el GAD Municipal de Cuenca, presente en seis países de América Latina con el proyecto de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales, a través de la masificación del cambio tecnológico e implementación de buenas prácticas, incluyendo a la actividad tejera.

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Como se conoce, Cuenca es una ciudad que se caracteriza en su arquitectura por sus techos de tejas, y a su gente por su interés en actividades artesanales, entre las cuales se encuentra la elaboración de tejas.

En un comienzo el sector de San José de Balzay parroquia San Sebastián, y el sector de Racar correspondiente a la parroquia Bellavista, ubicados al noroccidente de la ciudad, tenían tierras arcillosas, razón por la cual los primeros productores y ladrilleros se ubicaron aquí y debido a que hasta hace poco obtenían estas arcillas de canteras cercanas, hoy en día todavía se encuentran productores en estas zonas, teniendo en cuenta además que esta es una actividad que se ha pasado de generación en generación.

El área de estudio se situará en la zona noroccidental de la Ciudad de Cuenca, en la parroquia San Sebastián específicamente en los sectores Los Lirios, Santísima Trinidad y Pan de Azúcar, el cual se encuentra especificado en la Figura 1.1.

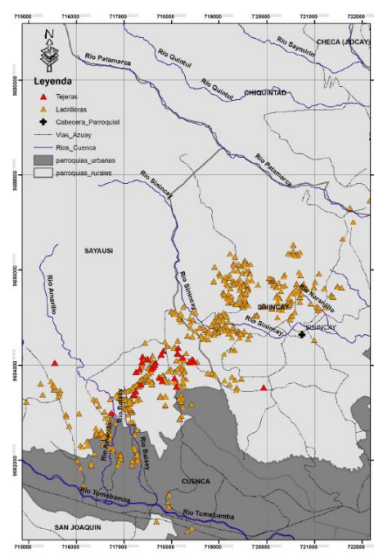


Figura 1.1 Ubicación sector tejero artesanal en el cantón Cuenca

FUENTE: Levantamiento de información en campo CGA.

Cabe mencionar que, aunque se conoce su proceso de elaboración, la gente no siempre está consciente sobre los cuidados que deben tener con algunos compuestos como el óxido de plomo que se utiliza para vidriar las tejas, el cual lo mezclan con sílice y lo aplican directamente sobre las mismas.

1.1.1 *Plumbosis*

Se denomina saturnismo o plumbosis al envenenamiento que produce el plomo cuando se incorpora en el cuerpo humano. El problema es que perjudica mucho la salud integral, sobre todo la de los niños que llegan a absorber hasta un 50% del plomo atmosférico, mientras que los adultos absorben aproximadamente el 20%. Los más perjudicados por la intoxicación con plomo, son los fetos en desarrollo, los bebés y los niños pequeños, que se ven afectados en su crecimiento y desarrollo, aún con cantidades mínimas de inhalación o ingesta.

Esta enfermedad puede provocar una intoxicación crónica ya que, al ser un metal pesado neurotóxico, cuando se encuentra presente en la sangre, llega a circular por todo el organismo provocando efectos nocivos, que de llegar al cerebro provocaría daños neurológicos de carácter irreversible.

Las vías de incorporación del plomo en el organismo se dan de dos maneras: superficial, por contacto directo con la piel e interno, por vía gastrointestinal y respiratoria.

Una vez que las partículas o vapores de plomo penetran a través del epitelio pulmonar, se integran a la circulación y se trasladan en plasma como fosfato de plomo, depositándose en los pulmones, riñones, hígado, encéfalo y huesos. Una parte se elimina a través de la orina y en menor proporción a través de la materia fecal. En el caso de mujeres embarazadas, llega a atravesar la placenta, lo cual puede ocasionar abortos o también puede provocar daños en el feto.

1.1.2 Factores de riesgo

Por su naturaleza el plomo es un elemento que podría afectar distintas partes del cuerpo, lo cual se manifiesta en ciertos síntomas característicos, ya que si el trabajador recibe una dosis alta de plomo podría ocasionar alguna emergencia de consideración. Aunque la mayoría de los casos la intoxicación con este elemento, se produce por acumulación lenta, lo cual se da por una exposición repetitiva a pequeñas cantidades de plomo, durante tiempos prolongados.

Cuando un trabajador se encuentra expuesto a grandes cantidades se puede decir que se trata de una intoxicación aguda, mientras que si se encuentra expuesto a pequeñas cantidades de este elemento durante largos periodo de tiempo se le denomina a este cuadro como una intoxicación crónica.

Es importante saber que cuando existe en el ambiente una concentración de plomo mayor a $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire, se deben adoptar medidas para reducir los efectos nocivos de este elemento. Recordando que el valor límite de plomo en el ambiente, tomando como referencia 8 horas diarias y 40 semanales, es de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire. Así mismo el valor límite de concentración de plomo en la sangre es de $70 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ de sangre, con valores mayores a este se podría determinar que existe un cuadro de plumbemia.

1.1.3 Síntomas de plumbosis

La exposición al óxido de plomo puede generar gusto metálico, dolor y espasmos abdominales, náuseas, pérdida de peso, vómito, además que puede causar daños en los nervios, provocando debilidad, hormigueo y debilidad de músculos y articulaciones, irritabilidad, disturbios visuales, aumenta el riesgo de hipertensión, además de dañar el riñón y el cerebro, afecta a los glóbulos sanguíneos, lo que puede provocar anemia. Debido a la exposición prolongada el plomo se puede depositar en el esqueleto de las personas.

1.1.4 Prevención

En este tipo de intoxicación por plomo, es importante eliminar la fuente de la intoxicación. Así como también se debe incentivar el uso de equipos de protección personal como guantes o mascarillas, de modo que se reduzca el riesgo de intoxicación.

1.2 TEJAS CERÁMICAS: GENERALIDADES

1.2.1 Definición de teja:

Según la norma INEN 986 la teja cerámica se puede definir de la siguiente manera “*Es una pieza acanalada o plana, de poco espesor, hecha de arcilla o tierra arcillosa, adecuadamente quemada*”. Generalmente se clasifican en planas y curvas, las mismas que pueden ser vidriadas o no, dependiendo del acabado final que se quiera dar.

1.2.2 Tejas vidriadas:

Las tejas cerámicas pueden llevar en su cara exterior o interior una capa de material impermeable que reduce notablemente la absorción de humedad. En este caso se conoce como tejas vidriadas. (INEN 986, 1984)

Las tejas o también conocidas como tejas cerámicas son elementos de colocación discontinua sobre techados inclinados y para el revestimiento interior y exterior de muros. Se obtienen por conformación (extrusión o prensado), secado y cocción de una pasta arcillosa que contenga o no aditivos dependiendo del tipo de elaboración que puede ser artesanal, semi-mecanizado o industrial.

1.2.3 Clasificación de tejas

De acuerdo a la norma INEN 986, las tejas de arcilla se clasifican en dos grupos principales: las tejas curvadas y las tejas planas.

1. La teja curvada es la que tiene forma acanalada en el sentido longitudinal, con una ligera reducción de su ancho hacia un extremo.
2. La teja plana tiene la forma de un paralelepípedo regular de espesor muy reducido en relación a sus demás dimensiones.

Debido a la plasticidad de las arcillas con las cuales se forma la teja, se puede obtener productos de diversas formas y dimensiones; además si se agrega colorante al vidrio, se obtienen de diferentes colores, aportando así a una gran variedad de tejas que se encuentran en el mercado; sin embargo, en este trabajo se estudiarán las tejas curvas vidriadas sin colorante, ya que estos son de mayor fabricación a nivel artesanal y comercialización en la actualidad.

Gracias a las características de las tejas vidriadas, estas cumplen como función principal el proteger a la vivienda, ya sea casa o edificio contra las condiciones climáticas, aislando el interior de la misma del sol, aire y lluvia; manteniendo una temperatura algo estable en el interior; además cumple una función estética, ayudando a mejorar y dar una impresión armónica al paisaje.

A continuación, se presenta una figura y cuadro que muestran las dimensiones propuestas por la norma INEN 986 y de las tejas elaboradas actualmente tanto artesanales como semi-mecanizadas.

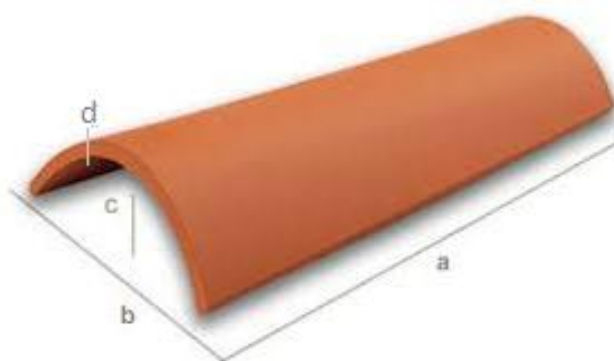


Figura 1.1 Dimensiones de una teja.

FUENTE: Norma INEN 986.

Tabla 1.1. Dimensiones promedio de tejas elaboradas actualmente, así como las que especifica la Norma INEN 986

Descripción	a. Longitud (cm)	b. Ancho (cm)	c. Flecha de curvatura (cm)	d. Espesor (cm)
Norma INEN 986	44	22	6	1
Tejas artesanales	28,24	15,01	4,02	0,74
Tejas semi-mecanizadas	31,98	17,06	6,07	0,89

Como se puede observar en la Tabla 1.1 tanto las tejas artesanales como las semi-mecanizadas no cumplen con los requisitos de las dimensiones de las normas INEN 986.

1.3 LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE SOCIO - ECONÓMICO Y TÉCNICO

Para comenzar con este estudio se realizó un levantamiento de línea base, solicitado por la Comisión de Gestión Ambiental, mediante encuestas en las cuales se recopiló información social, técnica, económica y de salud para conocer la realidad en la cual se desempeña esta actividad. De esto se obtuvo que en la parroquia San Sebastián específicamente en los sectores Los Lirios, Santísima Trinidad y Pan de Azúcar; existe un 50% de personas que realizan esta actividad de manera artesanal, es decir, sin la ayuda de maquinaria y el otro 50% realizan esa actividad de manera semi-mecanizada, es decir, con una extrusora que les ayuda a tener un producto de mejor acabado. La información mostrada a continuación se extrajo del documento “Sistematización de encuestas de Línea Base” del Proyecto de Alternativas para la Sustitución de Óxido de Plomo en la Elaboración de Tejas, elaborado para la CGA.

1.3.1 SECCIÓN I. INFORMACIÓN PERSONAL

Aquí se decidió categorizar a los productores de acuerdo a la forma de elaboración de las tejas cerámicas como Artesanales y Semi-mecanizados, y se obtuvo los siguientes datos.

Tabla 1.2. Categoría del productor

Categoría del productor	Porcentaje
Artesanal	50
Semi mecanizado	50

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

Se identifican los productores del tipo Artesanal si procesan las tejas sin ayuda de maquinaria electromecánica y semi-mecanizada si cuenta con algún tipo de equipo electromecánico como una batidora, extrusora, etc. para el proceso de elaboración de tejas.

1.3.2 SECCIÓN II PRODUCCIÓN:

Dentro del proceso productivo se consideran varios factores como la materia prima tanto para elaborar las tejas como para el vidriado de la misma, el tipo de horno que se utiliza, el combustible para los mismos, entre otros aspectos que se presentan a continuación.

En la siguiente tabla se relaciona las arcillas con sus nombres más comunes entre los productores con la frecuencia con las que son usadas en la elaboración de tejas.

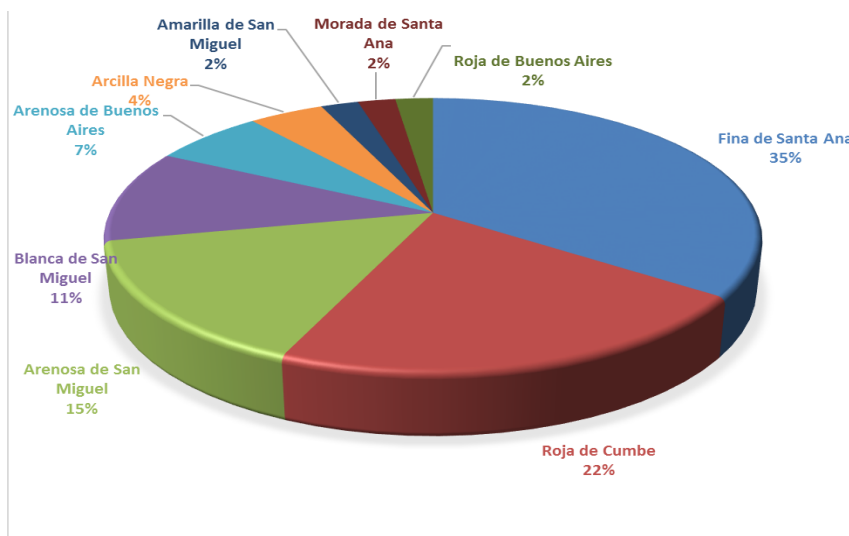


Figura 1.2. Porcentaje de arcillas usadas por los artesanos en la elaboración de tejas.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

De los tipos de arcillas usadas se destacan: Fina de Santa Ana, Roja de Cumbe, Arenosa de San Miguel, Blanca de San Miguel.

Además, se obtuvo información sobre los compuestos más utilizados en el proceso de vidriado de las tejas, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 1.3. Vidrios usados en tejas.

Compuesto	Porcentaje de uso en el vidriado
Oxido de plomo de Batería	56,25
Sílice	28,13
Barniz Preparado (Guayaquil)	9,38
Frita EFA80	6,25

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

Se puede observar que el principal vidrio es el óxido de plomo que por lo general se lo mezcla con sílice para su aplicación.

Como combustible para los hornos se utiliza principalmente madera, en diferentes presentaciones como troncos, palets, aserrín, etc., y en una mínima cantidad se usa diésel.

Tabla 1.4. *Combustible utilizado en la quema.*

Código	Tipo de Combustible usado en la quema	Cantidad de Combustible usado por quema. (Ton)
A.B.	Leña (troncos grandes y pequeño)	66.56
J	Palets	23.61
D	Aserrín	4.31
I	Diesel	0.13
	Total	94.61

La madera, en sus diversas presentaciones, se obtiene de las siguientes fuentes:

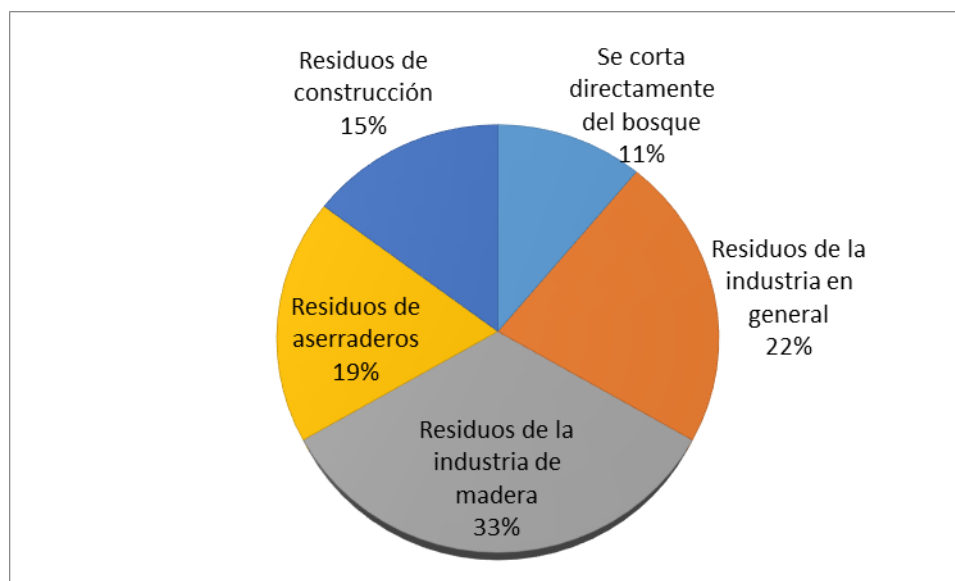


Figura 1.3 Lugar de obtención de madera utilizada como combustible.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

De los datos obtenidos, se tiene que el 78,95% de encuestados almacena el combustible al aire libre, esto se debe a las grandes cantidades que necesitan y la falta de un espacio techado para las mismas; el 15,79% lo

guardan bajo cubierta y el 5,26% busca otras alternativas para almacenar su combustible.

1.3.3 SECCIÓN III. TECNOLOGÍA

El uso de diferentes equipos, facilita el proceso, así como también dan un valor agregado al producto final, ya que se ofrece un producto de mejor calidad, por tal motivo en esta sección se presenta como están los productores en cuanto a tecnología.

En estas zonas de estudio se observó la presencia de dos tipos de hornos, redondos y cuadrados, siendo los hornos redondos los más utilizados con un 10% de diferencia.

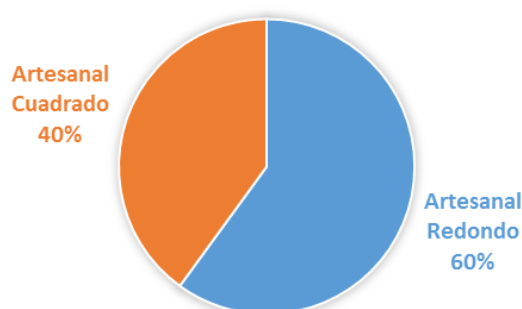


Figura 1.4 Tipo de horno.

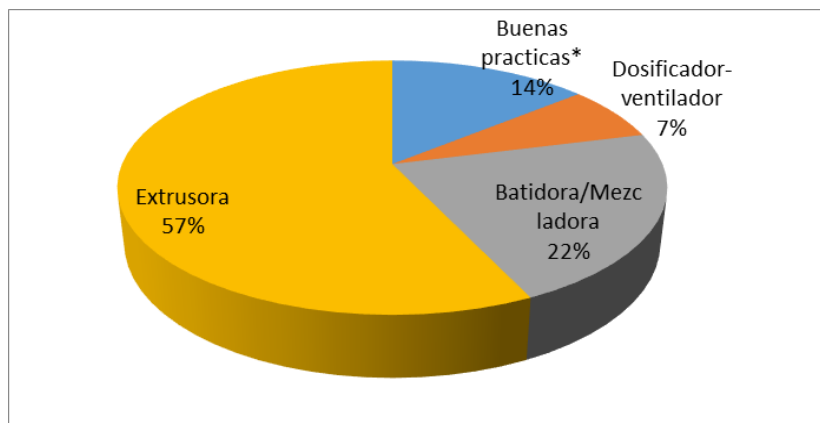
FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

La capacidad de los hornos depende de su tamaño y el uso que le den, en la siguiente tabla se muestra un promedio de su capacidad.

Tabla 1.5. Tipo de horno y capacidad.

Tipo de Horno	Promedio de las Capacidades en unidades
Artesanal Cuadrado	7313
Artesanal Redondo	6042

Como en un inicio todos empezaron de manera artesanal, para considerarse semi-mecanizados, los productores realizaron alguna mejora dentro de su proceso, tales como:



*Se considera buenas prácticas al engrosamiento de las paredes del horno, arreglo de ladrillos al interior del horno, construcción de arcos.

Figura 1.5. Implementación de cambios.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

A continuación, se indican las razones por las que se realizaron estas mejoras:

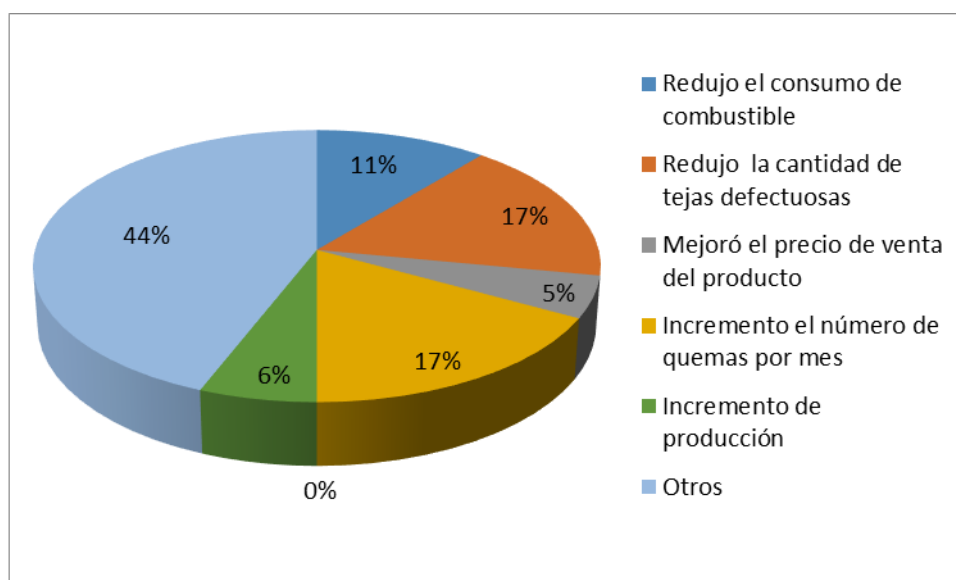


Figura 1.6. Razones por la cual se recomienda estas mejoras.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

1.3.4 SECCIÓN IV. INFORMACIÓN SOCIAL:

Esta sección nos dará una idea clara sobre la cantidad de hombres y mujeres que intervienen en esta actividad, además de las edades de los mismos, ya que desde niños empiezan a ayudar en las tejeras, se indicará también el nivel de educación que han recibido los productores.

De la sección de Información Social, en cuanto al nivel de educación de los productores, cuentan con el nivel primario, de los cuales el 67% han teniendo un tiempo en su actividad tejera de 20 a 25 años, el 17% entre 36-45 años, el 11% entre 26-35 años y un 5% de más de 46 años.

La mayoría de las familias está conformada por más de 9 personas, teniendo a la cabeza de familia al padre y madre, los mismos que deciden incluir a sus hijos en esta actividad desde los 5 y 13 años para niñas y niños respectivamente.

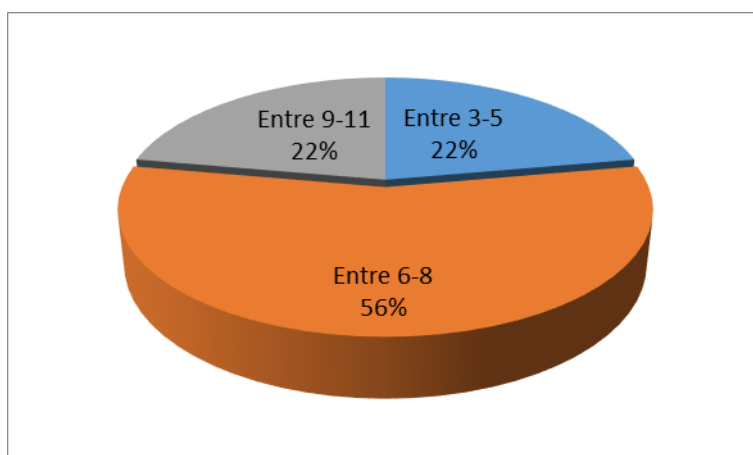


Figura 1.7. Porcentaje de hijos en una familia.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto "Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

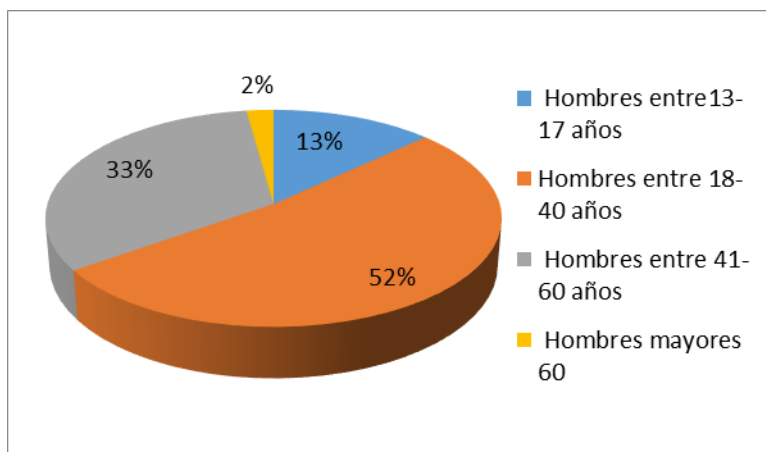


Figura 1.8. Porcentaje de hombres en la unidad productiva.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

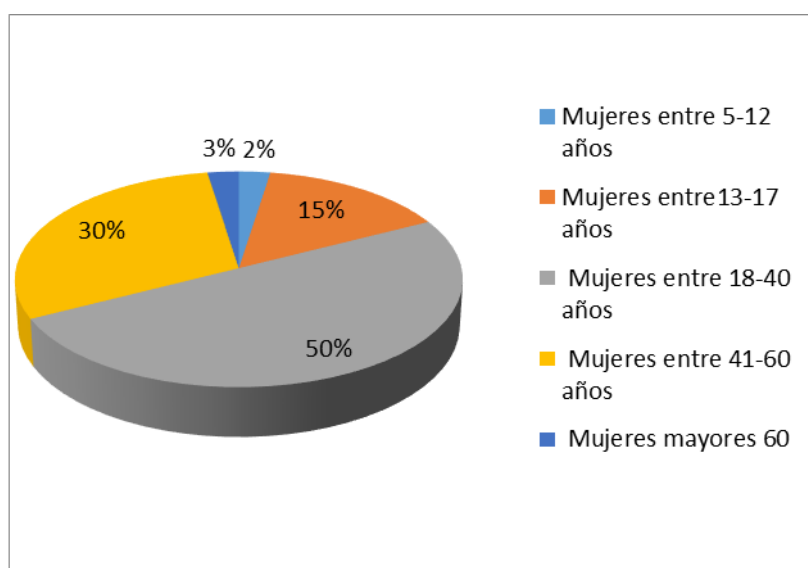


Figura 1.9. Porcentaje de mujeres en la unidad productiva.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

Los integrantes de la unidad productiva están entre las edades de 18-40 años, tanto mujeres como hombre. También lo conforman un grupo minoritario de niños, ya que el jefe de familia tiene como tradición integrarlos desde muy pequeños a esta actividad.

1.3.5 SECCIÓN V. SEGURIDAD OCUPACIONAL

En esta sección se puede observar la relación entre el trabajo que realizan y el impacto que este tiene en su salud según sus productores.

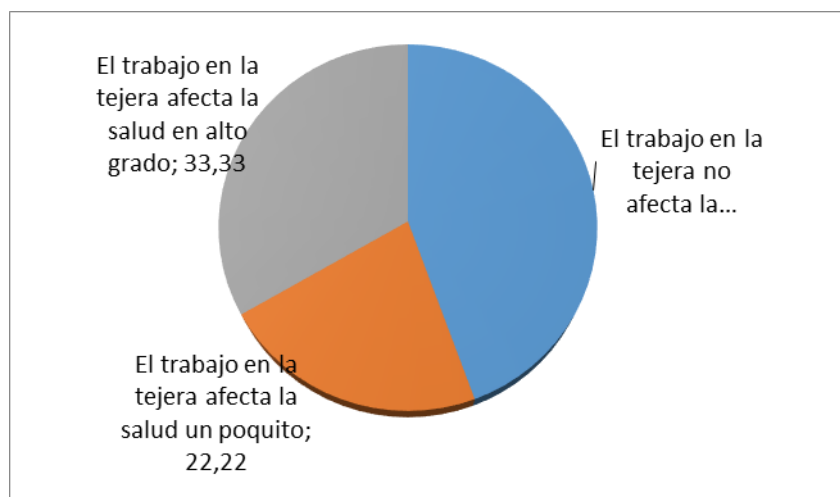


Figura 1.10. Relación del trabajo con la salud de los productores.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

Aunque el 44,44% de los encuestados dice que esta actividad no afecta su salud, el 55,55% afirma que el trabajo en la tejera afecta su salud, ya sea en un bajo o alto grado, indicando así que son conscientes de que esto podría ser la causa de varias de las enfermedades que les afectan.

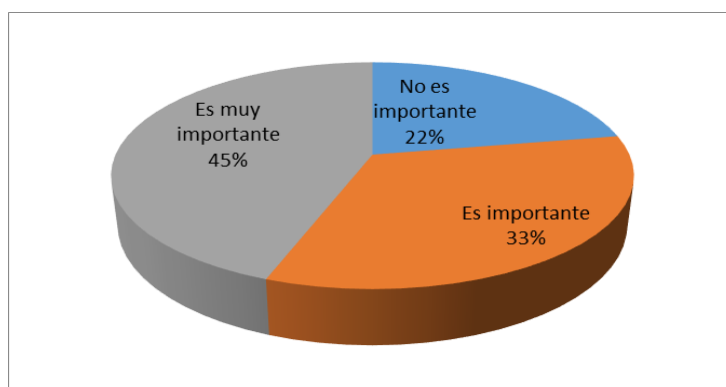


Figura 1.11. Relación del trabajo con la salud de los productores.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

Al igual que en la pregunta anterior, aunque el 22,22% de los encuestados cree que no es importante protegerse durante la elaboración de esta actividad, el 77,77% considera importante o muy importante protegerse mientras realizan esta actividad para disminuir en cierto grado el riesgo al que se exponen

El mayor número de personas (33,33%) indicó que recibió capacitación en el tema de Contaminación Ambiental, el 25,00% recibió capacitación en Seguridad Industrial y Primeros Auxilios, el 8,33% sobre Mejora de la Calidad de vida en el Trabajo, y finalmente sobre Características del Plomo y como cuidarse, y Seguridad Ocupacional y Salud en el Trabajo; esto indica una participación más activa por parte de las instituciones en informar a este sector vulnerable sobre los temas tratados.

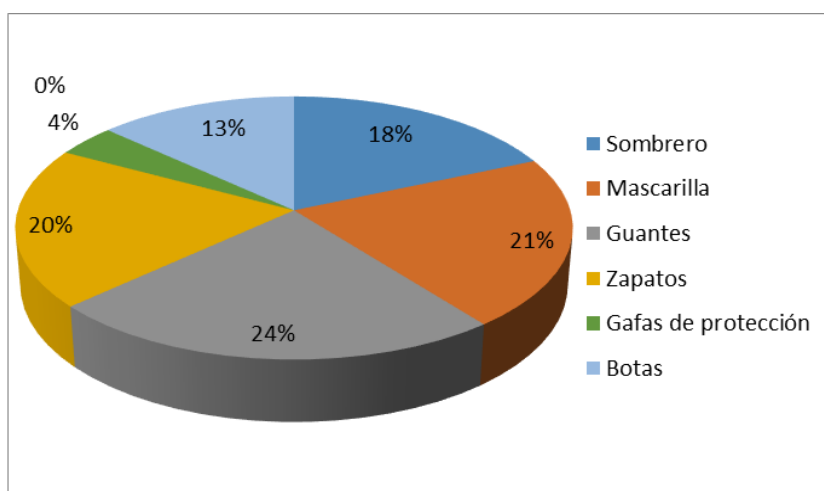


Figura 1.12. Elementos de protección que se utilizan por los artesanos.

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

Cuando se les preguntó si han tenido algún tipo de accidente en su tejera, la mayoría dijeron que no, sin embargo, al convivir más tiempo con ellos nos contaron algunas anécdotas en las que tuvieron accidentes en las extrusoras principalmente cuando comenzaron a usarlas los que realizan este proceso de manera semi-mecanizada.

Tabla 1.6. *Posibilidad de sufrir un accidente en la tejera.*

Descripción	Porcentaje
Si	16,67
No	83,33

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

Al tener algún incidente en la tejera, no siempre acuden a un médico, y las razones por las que lo hacen es por malestares que sienten como: dolor de estómago, náuseas, pérdida de peso, vómito, y por sentirse débiles y desanimados, síntomas que llevan a considerar la plumbosis teniendo en cuenta que trabajan con óxido de plomo para vidriar las tejas.

1.3.6 SECCIÓN VI. INFORMACIÓN ADICIONAL

El 100% de los encuestados compran la materia prima, ninguno posee una cantera propia para la extracción de la arcilla; el 55,56% compran de canteras cercanas y el 44,44% compran de canteras lejanas.

Tabla 1.7. *Lugar de obtención de la materia prima para la elaboración de tejas.*

Tipo de Cantera	Porcentaje
Cantera cercana (compra)	55,56
Cantera lejana (compra)	44,44

FUENTE: Levantamiento de Línea Base del proyecto “Alternativas para la Sustitución de Óxido de Pomo en la elaboración de tejas.

1.4 ESTUDIO DE LA TEMPERATURA DE LOS HORNOS ARTESANALES

Es importante realizar el estudio de temperaturas en los hornos artesanales para conocer el ciclo de quema al que están sometidas las tejas, tanto en el proceso de bizcochado como vidriado, para esto se realizó el monitoreo de temperaturas en dos hornos artesanales de la siguiente manera:

- El monitoreo se realizó in-situ, en el sector Pan de Azúcar, en un horno cuadrado de propiedad del Sr. Rodrigo Sinchi en el caso de las tejas semi-mecanizadas
- Así también se monitoreó un horno artesanal redondo ubicado en el sector de Los Lirios, de propiedad de la Sra. Luzmila Tenesaca, para tejas totalmente artesanales.
- Para la toma de datos se usó una termocupla tipo k que resiste temperaturas de hasta 1260°C.
- Se colocaron dos termocuplas, identificando las zonas de alta y baja temperatura del horno, con la ayuda de su propietario.
- En total se realizaron seis monitoreos, tres para el proceso de bizcochado y tres para el proceso de vidriado, teniendo datos similares tanto en el horno cuadrado como en el redondo.
- El bizcochado tuvo una duración de ocho horas en promedio.
- El vidriado duró más tiempo, llevándose a cabo este por veintiuna horas en promedio.
- De este estudio se determinó la temperatura de trabajo del bizcocho (650 °C) y la del vidriado (850 °C), lo cual es de vital importancia para las pruebas a realizar.

Las temperaturas obtenidas tanto en el horno del sector Pan de Azúcar, como en el sector Los Lirios, fueron muy similares por lo que se obtuvo los ciclos de quema al sacar el promedio de las tomas de temperatura en los dos hornos.

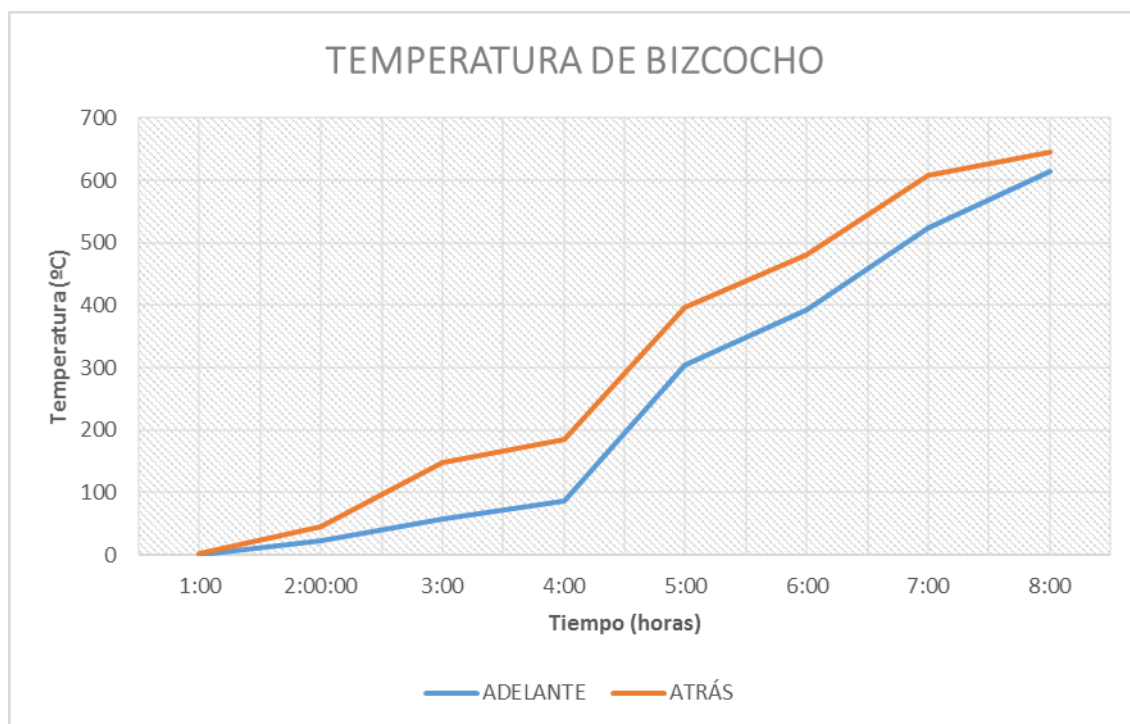


Figura 1.13 Curva de Temperatura de Bizcocho vs. Tiempo

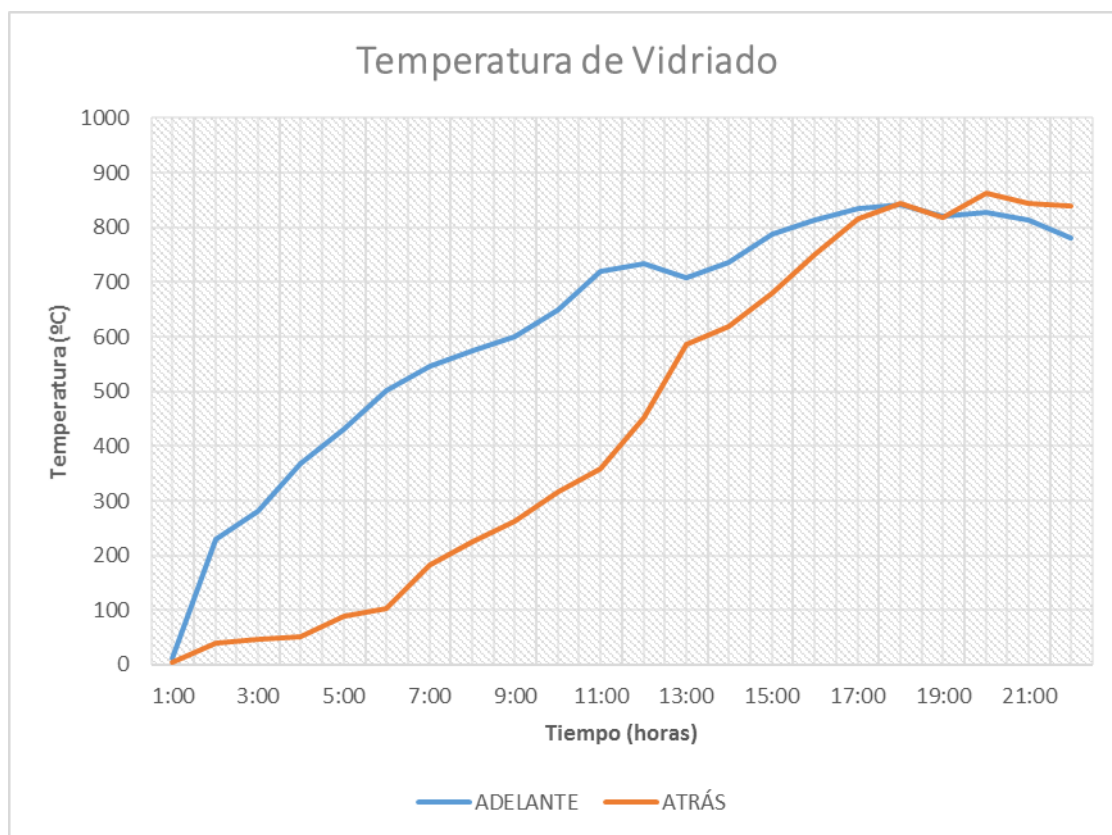


Figura 1.14 Curva de Temperatura de Vidriado vs. Tiempo

1.5 ELABORACIÓN DE TEJAS.

1.5.1 Método artesanal

Obtención de la materia prima

Como se indicó en el levantamiento de la línea base, las arcillas las compran de canteras cercanas y lejanas, las cuales son entregadas a los productores en volquetas.

Posterior el material se almacena al ambiente, en tu terreno lateral sin cubierta.



Figura 1.15. Almacenamiento de materia prima en el terreno del propietario.

FUENTE: Las Autoras.

Dosificación.

Los artesanos usan solo dos tipos de arcillas, una fina y una arenosa, siendo ésta última la arenosa de San Miguel o la de Buenos Aires; ya que el uso de estas arcillas abarata los costos de producción.

Mezcla y moldeo de la materia prima.

Las arcillas son disgregadas con la ayuda de un pico para luego ser mezcladas de acuerdo a su dosificación.

Se coloca en un noque, pequeño estanque, y agrega agua hasta obtener una masa suave, la mismo se homogeniza con la ayuda de caballos, este batido se realiza por un periodo de 4 horas. Una vez terminado esto se pone a secar la mezcla para que tenga una consistencia moldeable.



Figura 1.16 Mezclado de arcillas en un noque con la ayuda de caballos.

FUENTE: Las Autoras.

Cuando tiene una buena consistencia, se forman montículos del material, del cual se realiza una mezcla final y se retiran las piedras más grandes.



Figura 1.17 Mezclado final a mano antes de elaborar tejas.

FUENTE: Las Autoras.

Se lleva a una mesa de trabajo en donde, sobre un lienzo con bordes de madera se llena con la mezcla, luego se coloca sobre un molde de madera conocido como tortuga se da la forma a la teja y se retiran algunas piedras que pudieron quedar de los procesos anteriores.



Figura 1.18 Formación de la teja artesanalmente.

FUENTE: Las Autoras.

Las tejas formadas se colocan en un galpón, que consiste en un techo de plástico de invernadero sostenido con palos, y se dejan secar por unos días hasta que se pueda manipular el producto, a continuación, se realiza un perfilado, con el cual se en retira el exceso de material de los filos para que estos queden regulares.



Figura 1.19 Perfilado de la teja a mano.

FUENTE: Las Autoras.

Una vez que la teja tiene el acabado deseado, se deja secar en el mismo lugar por 15 o 20 días más dependiendo del clima, para que pierdan la mayor parte de agua de contracción siendo esto entre un 15-20%.

Cocción

Los hornos del sector artesanal tienen capacidades de 6000 tejas en promedio. Al ser hornos intermitentes, se debe cargar y descargar las piezas que reciben el tratamiento térmico, estos hornos están formados por una cámara aislada y un sistema de calentamiento, el cual se carga con el combustible.



Figura 1.20 Horno artesanal en proceso de quema y sistema de calentamiento cargado con combustible (desechos de madera)

FUENTE: Las Autoras.

Primera quema.

Una vez que la teja ha perdido la mayor cantidad de agua, se procede a quemar a una temperatura de 650°C por 8 horas para eliminar el resto de agua que hay entre las partículas de arcilla, consiguiendo una teja más resistente y lista para el proceso de vidriado; al producto obtenido se conoce como teja bizcochada.



Figura 1.21 Ubicación de las tejas bizcochadas en el horno artesanal.

FUENTE: Las Autoras.

Vidriado.

Cuando la teja bizcochada está fría, se procede a vidriar la misma, para lo cual usan un vidrio crudo que es un compuesto formado por óxido de plomo y sílice en cantidades previamente establecidas que forman una suspensión, el mismo que se coloca sobre la teja con ayuda de un recipiente.



Figura 1.22 Colocación del vidrio crudo a base de óxido de plomo sobre tejas artesanales.

FUENTE: Las Autoras.

El óxido de plomo posee un punto de fusión muy bajo ($550-600^{\circ}\text{C}$), brindando al producto final un elevado brillo. Aunque durante la quema se puede conducir a la formación del plomo metálico el cual es muy tóxico

Segunda quema.

En este proceso se lleva las tejas a una temperatura de 850°C en un periodo de 22 horas, para lograr que el vidrio crudo se vitrifique sobre la teja dándole un acabado brillante e impermeable a la misma, además de aumentar se resistencia mecánica, quedando así lista para la venta.



Figura 1.23 Colocación de las tejas vidriadas en el horno artesanal.

FUENTE: Las Autoras.

1.5.2 Método semi-mecanizado

Obtención de la materia prima.

Para los semi-mecanizados el 25% de los productores obtienen las arcillas tanto de canteras cercanas y lejanas y el 75% de canteras lejanas. Las arcillas son entregadas a los productores en volquetas.

Este material se almacena al aire a un costado del terreno en el cual trabajan.

Dosificación

De la tabla 2 se puede observar que utilizan arcilla roja, fina y arenosa que proviene de canteras como Buenos Aires, San Miguel, Cumbe, Santa Ana, dependiendo de los distribuidores y las dosificaciones de cada productor.

Mezcla y moldeo de la materia prima.

Estas se mezclan de acuerdo a la dosificación de cada tejero. Con ayuda de volquetas o pequeños tractores se lleva las cantidades establecidas de cada material a un patio en el cual se realiza una pre-mezcla con ayuda de picos y palas, agregando agua con una manguera para que los materiales se adhieran entre sí, para posteriormente pasarla por un molino de rodillos, el cual ayuda a disgregar las chumbas que se forman y a mezclar el material.

Con ayuda de una cinta de transporte, éste material pasa a una extrusora, en la cual se mezclan las arcillas hasta obtener una pasta homogénea y en la boquilla se da la forma a la teja; otorgando un acabado excelente de la misma, por lo cual no es necesario perfilarla posteriormente.



Figura 1.24 Arcillas pasando por el tornillo sin fin de la extrusora y teja formada saliendo de la boca de la extrusora.

FUENTE: Las Autoras.

Gracias a la implementación de una extrusora en su proceso productivo, se puede obtener varias formas y tamaños de este producto, dependiendo de la demanda del mercado.

Cocción

Al igual que en el caso de los artesanos, se utilizan tanto hornos cuadrados como redondos, con capacidades de 10000 tejas en promedio.

Primera quema.

Las condiciones de quema son iguales a los de los artesanos.



Figura 1.25 Tejas semi-mecanizadas vidriadas.

FUENTE: Las Autoras.

Vidriado.

Al igual que los artesanos utilizan una suspensión de óxido de plomo y sílice.



Figura 1.26 Colocación de vidrio crudo a base de óxido de plomo sobre teja semi-mecanizadas.

FUENTE: Las Autoras.

Segunda quema.

Se realiza en las mismas condiciones que los artesanos.



Figura 1.27 Tejas semi-mecanizadas vidriadas.

FUENTE: Las Autoras.

1.6 ARCILLAS: GENERALIDADES

1.6.1 Definición de Arcilla:

Según (BRUGUERA, 1986) la arcilla es una roca ligera, suave al tacto, muy blanda y de color variable (gris, azul, amarillento, rojizo, blanco, etc.), formada por partículas pequeñísimas huele a mojado al echarle el aliento, se pega a la lengua o a los labios y forma una masa plástica con el agua que puede moldearse y conservar la forma aún después de ser cocida.

Los minerales arcillosos, son filosilicatos hidratados que se presentan en cristales muy pequeños (algunos en láminas hexagonales o a veces en fibras). Los minerales de arcilla poseen dos componentes estructurales básicos: uno es el tetraedro de Silicio - Oxígeno y el otro es el octaedro, en el cual un átomo de aluminio, magnesio y/o hierro es rodeado por seis aniones (2 ó 4 oxígenos y 4 ó 2 hidróxidos).

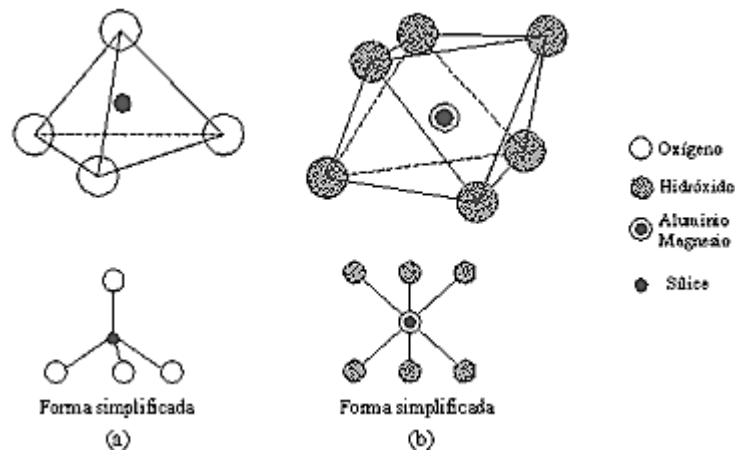


Figura 1.28 Estructuras atómicas básicas de arcilla.

FUENTE: Whitlow (1994)

1.6.2 Clasificación de las arcillas

Según su uso práctico

- **Tierras arcillosas:** Estos materiales además de arcilla contienen partículas silíceas o calizas, además vitrifican a temperaturas bajas, incluso 900°C.
- **Arcillas comunes:** Compuestas por grandes cantidades de carbonato cálcico y óxido de hierro, son fusibles y se usan a temperaturas entre 900°C y 1050°C.
- **Arcillas para gres:** Este tipo de arcillas funden a temperaturas elevadas, pero sintetizan y compactan a temperaturas inferiores, por tal motivo se originan productos de nula porosidad y vitrificados.
- **Arcillas para porcelana:** Su punto de vitrificación es elevado, por lo que se añade gran cantidad de fundente.

Según su fusibilidad y el color.

- **Arcillas refractarias:** Arcillas y caolines cuyo punto de fusión está comprendido entre 1.600 y 1.750°C. Por lo general son blancas, grises y poco coloreadas después de su cocción. El contenido de sílice libre es elevado.
- **Arcillas gresificables:** Estas arcillas son bastantes refractarias, se usan a temperaturas elevadas. Son más plásticas que las refractarias, dando así a productos con nula porosidad.
- **Arcillas blancas grasas:** Presentan alta plasticidad por lo que se produce una elevada contracción durante el secado. Su temperatura de trabajo es inferior a 1250°C, tomando un color blanco o marfil tras la quema.
- **Arcillas rojas fusibles:** Son plásticas, son de alta fusibilidad ya que contienen un elevado contenido de hierro.

Según su origen geológico:

- **Primarias:** Estas arcillas son las formadas en el lugar de sus rocas madres y no han sido transportadas por el agua, el viento. Tienden a ser de grano grueso y relativamente no plásticas. Cuando han sido limpiadas de fragmentos de roca, son relativamente puras, blancas y libres de contaminación. La mayoría de los caolines son arcillas primarias.
- **Secundarias:** Son las que han sido desplazadas del lugar de las rocas madres originales. Aunque el agua es el agente más corriente de transporte, el viento y los glaciares pueden también transportar arcilla. Estas son más comunes que las primarias, además tienen una constitución más compleja ya que están compuestas por material procedente de distintas fuentes: hierro, cuarzo, mica, materias carbonosas y otras impurezas.

Según su trabajabilidad:

- **Arcillas grasas:** Poseen una gran plasticidad, incluso para pequeñas humedades. Están constituidas por una alta concentración de minerales arcillosos y una baja concentración en arenas silíceas, se moldean con facilidad, pero su gran adherencia impide el desmoldeo correcto.
- Entre este tipo de arcillas se tiene: arcillas de bolas (ballclay), arcillas azules (blue clay), arcillas compactas (stoneware).
- **Arcillas magras:** De baja plasticidad, haciéndolas poco trabajables. Tienen menor contracción al secado.

1.7 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS**Capacidad de absorción.**

Debido a la propiedad que poseen las arcillas de absorber tanto agua como otras moléculas en sus espacios intermoleculares, estas se pueden usar como absorbentes.

En sus estudios, García y Suárez (s.f.) indican que *“la capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato)”*. (Las arcillas: propiedades y usos).

Hidratación e hinchamiento.

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

Empaquetamiento de las partículas de arcilla.

Muchas de las partículas tienen forma esférica, pero esto no sucede con las partículas de arcillas ya que ellas tienen forma de placa y otras de varilla. Por lo tanto, partiendo de consideraciones geométricas entre ellas existe una tendencia de empaquetamiento, resbalar una sobre otra.

Las arcillas con partículas orientadas presentan diferentes propiedades en dirección del apilamiento que, en la dirección perpendicular a ella, como se ven en la permeabilidad diferencial, contracción en el secado y resistencia en fresco, contracción en la cochura y tras la cochura.

La orientación de las partículas de arcilla ocurre con la mayor facilidad en proceso cerámico de la colada, así como también en la arcilla filtro prensada y en la arcilla extruida. (F. SINGER Y S.S. SINGER, 1979, p.75).

Tixotropía.

La tixotropía es el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo.

Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido y cuando se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

Plasticidad.

Es la capacidad de deformarse ante un esfuerzo mecánico conservando la deformación al retirarse la carga, mediante la adición de una cierta cantidad de agua. La plasticidad en las arcillas depende fundamentalmente del contenido de agua, si está seca no es plástica, se disgrega, y con exceso de agua se separan las láminas.

Según (SINGER F. S., 1979) la plasticidad está ligada con las relaciones físico-químicas entre las partículas coloidales de arcilla y el agua, y de aquellas entre sí, siendo afectada por los cuatro factores siguientes:

- Composición mineralógica
- Tamaño de partícula y distribución de tamaños
- Capacidad de cambio de catión, cationes y pH
- Tensión superficial del agua.

Permeabilidad de las arcillas.

Es la capacidad que tiene de transmitir un fluido sin alterar su estructura interna, siendo en este caso en agua.

La posibilidad de que el agua pase a través de una capa de arcilla depende del modo en que estén empaquetadas las partículas y de las películas de agua adsorbidas alrededor y entre las partículas. (F. SINGER Y S.S. SINGER, 1979)

1.8 ARCILLAS PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS

La principal materia prima para la elaboración de tejas son las arcillas rojas por su alto contenido de hierro, ya que este proporciona un color rojo tras la quema, la mezcla de éstas depende de cada artesano.

La pasta formada debe dar características finales a las tejas como: un buen aspecto superficial, al tener una superficie lisa, sin grietas ni grumos,

se garantiza que la teja tenga una buena resistencia mecánica, dependiendo de la calidad se define el costo del producto.

Generalmente para abaratar costos, utilizan arcillas heterogéneas, que contienen impurezas como arena. Esto generalmente ocurre con los productores artesanales ya que ellos no requieren homogeneidad en el tamaño de partícula.

La cantidad de humedad que la pasta contenga es muy importante, ya que esto determinará la manera de trabajarla así para la elaboración manual de tejas se requieren pastas bastante húmedas de tal manera que al moldearlas mantenga su forma. Mientras mayor sea la presión para darles forma menor será la cantidad de humedad que se necesite.

La pasta obtenida es blanda y untuosa al tacto. Ya dada la forma se expone al aire secándose y endureciéndose. La teja obtenida es frágil y desmenuzable en presencia de agua.

En la cocción, se produce cambios en la estructura interna: al ablandarse parte de la pasta, ésta se reparte alrededor de partículas más refractarias, manteniéndolas juntas, formando así una matriz vítrea amorfa al enfriarse; obteniéndose un producto compacto y resistente, conservando su forma. Si a este producto se vuelve a moler y mezclar con agua, estos no se volverán a compactar.

1.9 VIDRIOS

1.9.1 *Naturaleza del vidriado*

El vidriado cerámico es una capa fina de vidrio, o de vidrio y de cristales, la cual es cocida sobre una superficie de cerámica, estando cruda o quemada. Generalmente suele aplicarse como una suspensión en agua, por inmersión o atomización.

El vidrio puede definirse como un líquido sobre-enfriado de alta viscosidad, por lo que no tiene un punto de fusión definido con un largo intervalo de ablandamiento, propiedad que permite la formación del vidrio en el intervalo de temperaturas de trabajo y márgenes de maduración largos para los vidriados. Los vidrios poseen una estructura reticulada al azar, sin orden fuera del tetraedro de SiO_2 que casi siempre es el bloque fundamental.

1.9.2 Vidrios crudos

Los vidrios crudos generalmente son de altas temperaturas y se aplican a piezas sin quemar o quemadas a baja temperatura.

Estos vidrios son molidos formando una suspensión o barbotina que luego se aplicará sobre la pieza. En este tipo de vidrios se restringe el uso de componentes solubles en agua.

1.9.3 Óxido de plomo

Históricamente el óxido de Plomo se utilizaba ampliamente en esmaltes cerámicos de cerámica doméstica, debido a su toxicidad su uso es cada vez más restringido.

Este compuesto es importante en los vidrios de baja temperatura de cocción. Su principal ventaja es que presenta un punto de fusión muy bajo ($550^\circ - 600^\circ\text{C}$). Además, posee un elevado brillo, con un coeficiente de dilatación bastante bajo que hace que los vidriados de plomo se acoplen fácilmente a la mayoría de las pastas cerámicas.

Actualmente el óxido de plomo es el más usado en el proceso de vidriado de tejas.

La manipulación de óxido de plomo constituye un peligro para los artesanos, ya que al estar en contacto con el mismo contraen la plumbosis, la cual ya se trató en el capítulo anterior; ya que en esta actividad intervienen tanto niños como ancianos, ellos son los más afectados.

Como indica VIELHABER (1961), la acción reductora de los gases del horno puede conducir a la formación de plomo metálico, contaminando así el medio que los rodea.

1.9.4 Fritas

Una frita es un compuesto de óxidos o minerales calentado hasta su fusión y enfriado bruscamente con el objeto de reducirlo a fragmentos pequeños y facilitar su molienda posterior.

Las materias primas con las que se elaboran las fritas pueden ser productos naturales o sintéticos como óxidos, silicatos, carbonatos, aluminosilicatos, boratos, etc.

Las ventajas por las que se elabora una frita son las siguientes:

- Vuelve insolubles a compuestos solubles en agua, por ejemplo, el boro que en forma de suspensión en agua sería imposible de usar en dosificaciones, de modo que al fritarlo forma silicatos.
- Convierte en no tóxicos a los tóxicos, por ejemplo, el cadmio y el plomo ya que al formar silicatos son difícilmente solubles.
- Una frita requiere de menos temperatura y/o tiempo de cocción para obtener superficies de mejor calidad que uno crudo, obteniéndose así una superficie más lisa y brillante.
- Se reduce la tendencia de sedimentación que presentan las suspensiones de materias primas no fritadas ya que estos presentan tamaños de partículas y densidades diferentes.
- También se reduce la aparición de defectos superficiales.

El precio de una frita es mayor que el de uno crudo, pero esto se compensa con una mayor facilidad de aplicación y de cochura.

Vidriados con fritas de baja temperatura (850 – 1050°C)

Tipo de vidriado, en cuya composición se encuentran presentes ciertos óxidos fundentes, que por sus características son difíciles de obtener de otra fuente, ya sea porque son escasos y por lo tanto muy caros, o porque son

tóxicos, tal es el caso de los óxidos alcalinos (Na_2O , K_2O , Li_2O), del óxido de plomo (PbO) y del boro (B_2O_3).

Para mantener en suspensión la frita es necesario mezclarla con arcilla debido a que su peso específico es muy alto. Esta combinación simple de frita-arcilla puede generar diferentes posibilidades de vidriados, si se consideran las variantes existentes de arcilla. Puede realizarse combinaciones de frita-arcilla-sílice, y otras más complejas como frita-arcilla-sílice-feldespató. Este tipo de vidriados suelen ser brillantes y de colores vivos. Por estar madurados a bajas temperaturas no son tan resistentes y duros y es común que tiendan a craquelarse. (VAZQUEZ, 2011).

1.9.5 *Propiedades deseadas de los vidriados*

- **Fusibilidad:** Debe formar el máximo de vidrio líquido a la temperatura de maduración que se desee.
- **Viscosidad:** Tiene que ser moderada a su temperatura máxima de cocción de tal manera que no se produzca un flujo global en las superficies inclinadas o verticales.
- **Tensión superficial:** Tiene que ser baja para evitar desigualdades.
- **Volatilización:** Durante la cocción la volatilización debe ser mínima.
- **Reacción con la pasta:** Debe ser moderada para lograr un buen acople pasta-vidrio.
- **Absorción en la pasta:** No debe producirse la absorción de constituyentes del vidrio durante la cocción.
- **Coeficiente de expansión y el módulo de elasticidad de Young:** Deben tener una relación similar con el de la pasta para conseguir una máxima resistencia.
- **Homogeneidad, suavidad y dureza:** Para resistir la abrasión, el rayado, etc.
- **Color:** Esto por razones estéticas o térmicas del producto.

CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y PASTAS USADAS EN LOS SECTORES SAN JOSE DE BALZAY Y RACAR.

La caracterización de cada una de las materias primas utilizadas para la elaboración de tejas en estos sectores es importante para poder conocer su aporte dentro de la teja a partir de sus propiedades físicas y químicas, para lo cual se realizaron los siguientes ensayos de cada arcilla y las pastas usadas tanto de manera totalmente artesanal como la utilizada por los productores semi-mecanizados.

- Análisis químico
- Contracción al secado y total
- Granulometría
- Plasticidad

2.1 ANÁLISIS QUÍMICO

El análisis químico comprende un conjunto de técnicas y procedimientos cuyo objetivo es identificar la composición de una muestra y cuantificar las diferentes sustancias que se encuentran en la misma, es por esta razón que se divide en análisis cualitativo y análisis cuantitativo.

El Análisis Cualitativo tiene por objetivo la identificación de los componentes que se encuentran presentes en la muestra para de esta manera saber cómo tratar la misma en base a las sustancias que lo conforman.

El Análisis Cuantitativo tiene por objetivo determinar la cantidad o concentración de algunas o todas las sustancias que forman parte de la muestra.

Este análisis se realizó en el laboratorio del CESEMIN, de la Universidad de Cuenca, lugar en el cual se analizaron las muestras con los siguientes métodos:

- Fusión de hidróxidos.
- Extracción ácida.
- Espectroscopia de absorción atómica.

El análisis químico nos permite conocer además de su composición química, inferir los minerales que pueden estar presentes en las arcillas y las características que aportan a la pasta para la elaboración de las tejas.

Es vital conocer en qué proporción se encuentra cada compuesto, ya que cada uno aporta una propiedad diferente, pudiendo así predecir cómo actuará cada una de ellas dentro de la mezcla. Tal es el caso de SiO_2 y Al_2O_3 , que van actuar como material refractario, confiriendo resistencia al producto, el Fe_2O_3 como fundente, además de proporcionar el color rojizo tras la quema.

RESULTADOS.

Los datos de esta tabla se obtuvieron en base al reporte de resultados entregados por el CESEMIN, correspondiente al Anexo 2.1.

Tabla 2.1 Resultados del Análisis Químico de cada arcilla.

% ÓXIDO	Roja de Buenos Aires	Roja de Cumbe	Arenosa de Buenos Aires	Arenosa de San Miguel	Arcilla Morada	Arcilla Cera
SiO_2	62,23	66,83	64,76	68,89	59,7	56,19
Al_2O_3	20,11	17,63	17,09	16,47	24,52	24,49
Fe_2O_3	7,09	6	5,82	5,04	7,06	4,98
CaO	0,19	0,19	0,18	0,51	0,01	0,28
MgO	0,31	0,64	0,62	0,41	0,28	0,41
Na_2O	0,13	0,21	0,09	0,26	0,23	0,11
K_2O	0,28	0,35	0,13	0,2	0,33	0,08
P. Fuego	9,48	7,63	11,32	8,22	7,37	13,45

FUENTE: Reporte de resultados de Análisis químico de materias primas. Anexo 2.1

2.2 SECADO

Este proceso es importante dentro de la elaboración de objetos cerámicos, debe ser controlado para evitar que se produzcan tensiones que deformen o rompan a la misma.

2.2.1 *Tipos de agua en el sistema:*

Agua de contracción: Esta agua proviene del proceso de moldeo, se encuentra libre entre las partículas, permitiendo que estas se deslicen entre sí, volviendo a la masa plástica, ocupa un gran espacio dentro del cuerpo arcilloso, se elimina por secado al aire libre, y al hacerlo produce una contracción significativa en la pieza.

Agua absorbida: También conocida como agua higroscópica, es aquella que se encuentra ligada a las partículas debido a la presión parcial de vapor de agua en la atmosfera, la pérdida de esta agua no implica un cambio significativo en la pieza, parte de esta agua también se elimina durante el secado.

Agua de poros: Una vez que se ha eliminado el agua de contracción queda una pequeña cantidad entre los espacios de las partículas.

Agua cristalográfica: Se encuentra unida químicamente a los cristales de los minerales que forman el cuerpo, su cantidad depende de la naturaleza de las materias primas.

2.2.2 *Contracción al secado (%CS)*

Las tejas se deben someter a un secado a temperatura ambiente para que adquieran cierta dureza al eliminar el agua que los humedece, al mismo tiempo que se produce una contracción, ya que, al eliminarse el agua, las partículas de la teja se acercarán, esta contracción dependerá de la cantidad de agua y granulometría, notándose además una pérdida de volumen y peso y un color más claro de la teja.

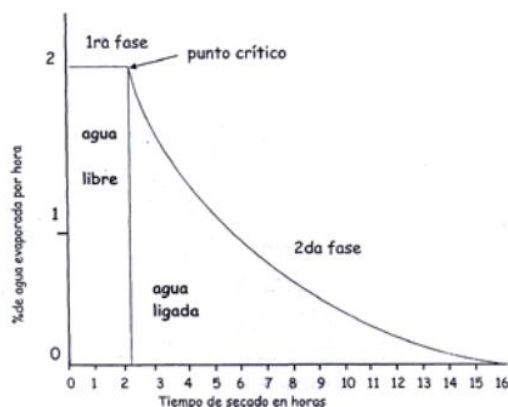


Figura 2.1 Variación del rendimiento del secado en función del tiempo.

Como se puede observar en la Figura 2.1, al comienzo se elimina el agua a una velocidad constante mientras el agua de contracción migra hacia la superficie con la misma velocidad con la que se evapora. Una vez eliminada esta agua, la velocidad decrece, la evaporación se da en el interior de la pieza y la contracción es mínima o nula.

La operación de secado se da por una transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa hasta llegar a un equilibrio.

2.2.3 Contracción a la quema (%CQ)

La contracción a la quema se da durante la cocción y va a depender de la capacidad de la pasta para vitrificarse, parte de la pasta se ablanda y distribuye alrededor de los granos más refractarios, manteniéndolos juntos, en este proceso se producen cambios de forma, tamaño y estructura.

Vitrificación: Este término es usado para describir la sinterización en presencia de fase líquida que contribuye a reducir la porosidad en la cocción de los productos cerámicos tradicionales. Durante la cocción se tiene lugar la formación de un vidrio viscoso la cual rodea las partículas más refractarias, y que, bajo las fuerzas de la tensión superficial creada por los finos poros de la pieza, tiende a aproximar las partículas aumentando la contracción y

reduciendo la porosidad del producto sin que se produzca deformación de la pieza cerámica. Durante el enfriamiento, se forma un producto denso sólido, con la fase vítrea que pega las partículas sólidas (Anónimo).

2.2.4 Contracción total(%CT)

Es la suma de la contracción al secado y la contracción a la quema. (SINGER,Felix.ySINGER,Sonia).

Al realizar este ensayo se va a conocer en qué porcentaje se contrae cada de las arcillas en sus diferentes etapas, teniendo muy en cuenta estos datos al momento de la dosificación ya que determinará el tamaño final de la teja, si la contracción es muy alta el tamaño de la teja se reducirá considerablemente, pudiendo darse fisuras internas que conlleven a la deformación o rotura de la teja, lo mismo sucede si el proceso es muy rápido.

PROCEDIMIENTO

Se formaron piezas de un tamaño determinado, se mide la distancia entre las marcas luego del proceso de secado y cocción, el detalle del procedimiento para este ensayo se adjunta en el Anexo 1.1

RESULTADOS.

Tabla 2.2 Resultados de contracción al secado y a la quema de cada arcilla.

MATERIAL	% CS	% CQ	% CT
Morada	5,160	0,106	5,260
Roja de Cumbe	5,270	-0,160	5,120
Roja de Buenos Aires	8,630	0,238	8,883
Arenosa de San Miguel	6,860	0,420	7,250
Arenosa de Buenos Aires	8,880	0,751	9,560
Cera	14,610	3,599	17,650

FUENTE: Las Autoras.

Tabla 2.3 Resultados de contracción al secado y a la quema de cada pasta.

PASTA	% CS	% CQ	% CT
ARTESANAL	8,607	0,685	9,233
SEMIMECANIZADA	8,247	0,511	8,717

FUENTE: Las Autoras.

2.3 GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico de una muestra consiste en determinar la proporción relativa en peso de los diferentes tamaños de granos, definidos por las aberturas de las mallas de los tamices utilizados.

Según Singer (1971) la granulometría tiene una gran influencia en las reacciones en estado sólido, en cuyas condiciones cuanto mayor es la superficie tanto más rápida es la reacción, y simultáneamente en las reacciones sólido-líquido. Para tales propósitos es de máxima utilidad el conocimiento de la superficie.

El tamaño de partícula determina la superficie y por lo tanto la relación con el agua que ocasiona la plasticidad, la viscosidad, y la contracción. En la superficie se produce adsorción de iones, la partícula adquiere carga y afecta a otras partículas. La distribución de tamaños determina la compactación de las partículas y está relacionado con la plasticidad, resistencia en seco y porosidad (Norton, 1983).

Distribución de partículas

Berry & Reid (1993) indican la posibilidad de expresar la gradación numéricamente mediante el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cz), expresados en la siguiente ecuación.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad ; \quad Cz = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$$

El coeficiente de uniformidad mide y califica el grado de distribución de tamaños de partículas del suelo. Si éste coeficiente es menor de 3, se considera muy uniforme. Y si la muestra estuviera formada por esferas perfectamente iguales, su coeficiente de uniformidad sería 1.

El coeficiente de curvatura interpreta como esta graduado el suelo entre diversos tamaños, este valor debería estar entre 1 y 3.

Así D10, D30 y D60 corresponde a los tamaños de partícula para los cuales el 10, 30 y 60% del material, respectivamente, es más fino que esos tamaños.

PROCEDIMIENTO

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. El método utilizado fue el húmedo-seco, el detalle del procedimiento se adjunta en el Anexo 1.2

RESULTADOS

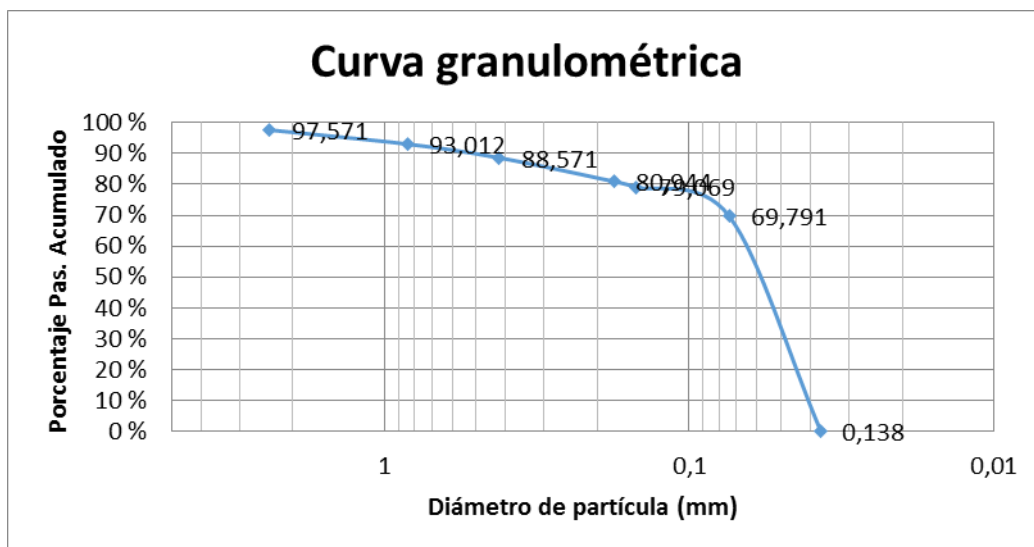
Método húmedo-seco

Material: Arcilla morada

Peso inicial tras deslamado: 34g

Tabla 2.4 Resultados de granulometría de la arcilla Morada.

# Malla	Diámetro (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pas. Acumulado
8	2,38	2,28	2,429	2,429	97,571
20	0,841	4,28	4,559	6,988	93,012
40	0,42	4,17	4,442	11,429	88,571
80	0,177	7,16	7,627	19,056	80,944
100	0,149	1,76	1,875	20,931	79,069
200	0,074	8,71	9,278	30,209	69,791
325	0,037	65,39	69,653	99,862	0,138
Fondo		0,13	0,138	100,000	
Total		93,88	100,000		



Cu	1,711
Cz	0,933
D10	0,038
D30	0,048
D60	0,065

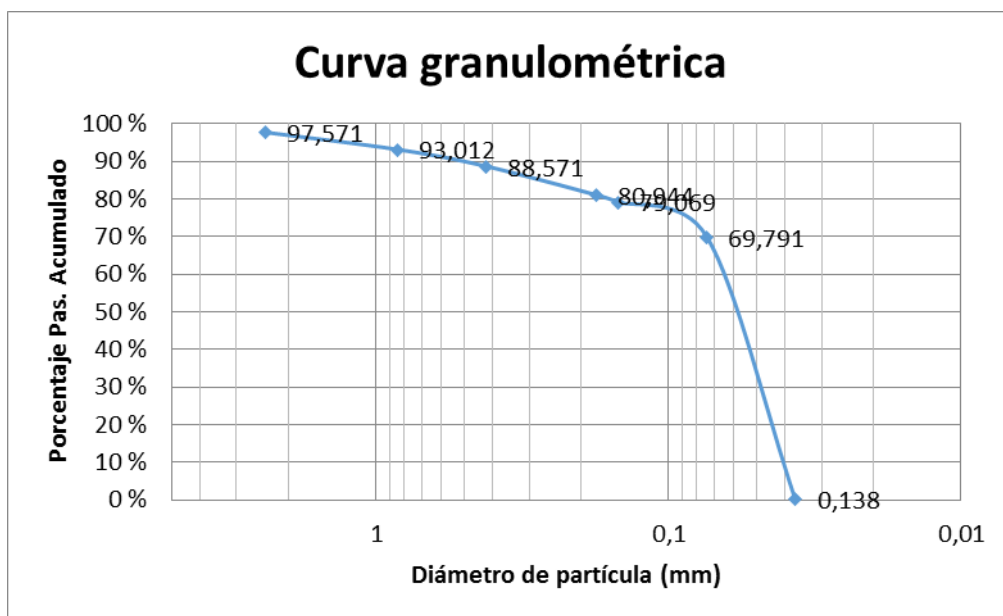
FUENTE: Las Autoras.

Material: Arcilla cera

Peso inicial tras deslamado: 10,72 g

Tabla 2.5 Resultados de granulometría de la arcilla Cera o Fina.

# Malla	Diámetro (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pas. Acumulado
8	2.38	0,69	0,708	0,708	99,292
20	0.841	1,11	1,139	1,847	98,153
40	0.42	1,55	1,590	3,437	96,563
80	0.177	1,78	1,826	5,263	94,737
100	0.149	0,39	0,400	5,663	94,337
200	0.074	2,63	2,698	8,361	91,639
325	0.037	89,28	91,588	99,949	0,051
Residuo		0,05	0,051	100,000	
Total		97,48	100,000		



Cu	1,375
Cz	0,962
D10	0,040
D30	0,046
D60	0,055

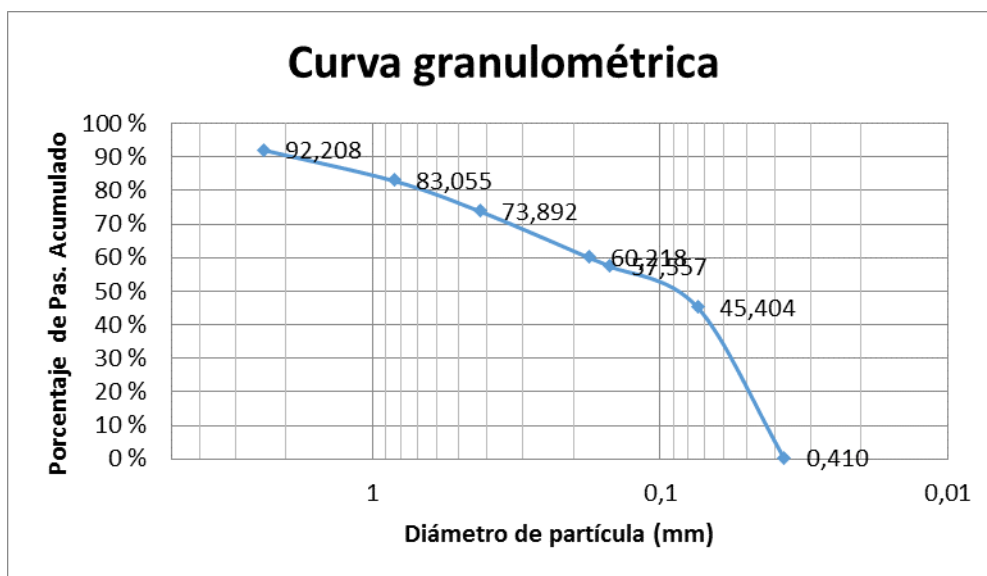
FUENTE: Las Autoras.

Material: Arcilla Arenosa de San Miguel

Peso inicial tras deslamado: 63,1 g

Tabla 2.6 Resultados de granulometría de la arcilla Arenosa de San Miguel.

# Malla	Diámetro (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pas. Acumulado
8	2.38	7,79	7,792	7,792	92,208
20	0.841	9,15	9,153	16,945	83,055
40	0.42	9,16	9,163	26,108	73,892
80	0.177	13,67	13,674	39,782	60,218
100	0.149	2,66	2,661	42,443	57,557
200	0.074	12,15	12,154	54,596	45,404
325	0.037	44,98	44,993	99,590	0,410
Residuo		0,41	0,410	100,000	
Total		99,97	100,000		



Cu	4,190
Cz	0,410
D10	0,043
D30	0,056
D60	0,180

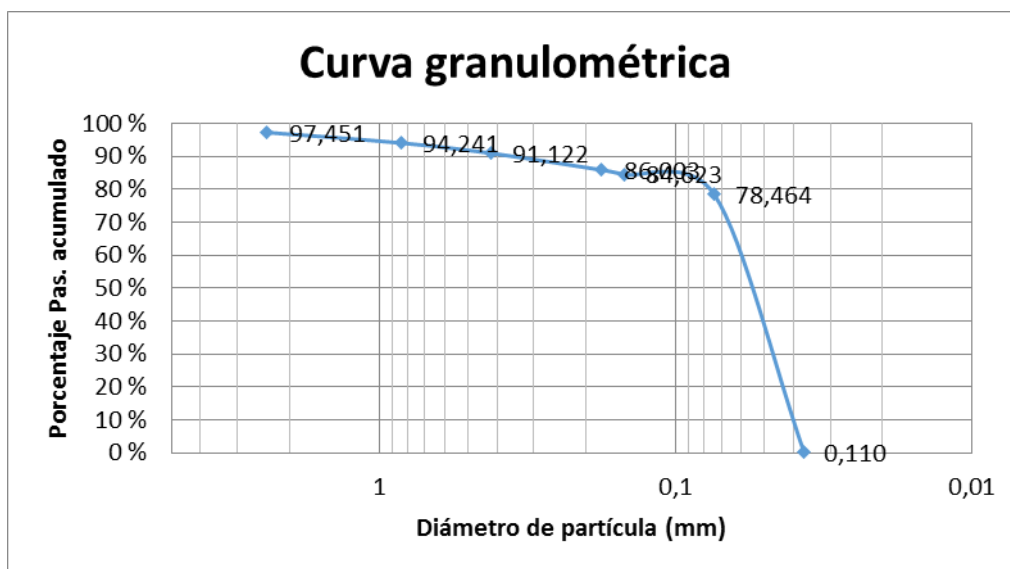
FUENTE: Las Autoras.

Material: Arcilla arenosa de Buenos Aires

Peso inicial tras deslamado: 26,2 g

Tabla 2.7 Resultados de granulometría de la arcilla Arenosa de Buenos Aires.

# Malla	Diámetro (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pas. Acumulado
8	2.38	2,55	2,549	2,549	97,451
20	0.841	3,21	3,209	5,759	94,241
40	0.42	3,12	3,119	8,878	91,122
80	0.177	5,12	5,119	13,997	86,003
100	0.149	1,38	1,380	15,377	84,623
200	0.074	6,16	6,159	21,536	78,464
325	0.037	78,37	78,354	99,890	0,110
Residuo		0,11	0,110	100,000	
Total		100,02	100,000		



Cu	1,250
Cz	1,150
D10	0,040
D30	0,048
D60	0,050

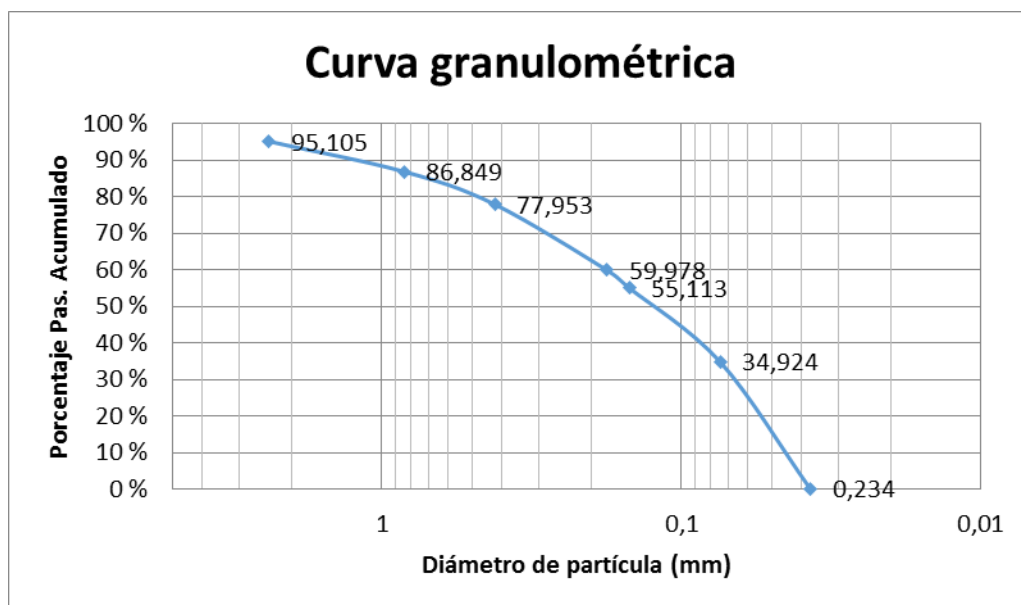
FUENTE: Las Autoras.

Material: Arcilla Roja de Cumbe

Peso inicial tras deslamado: 74,76 g

Tabla 2.8 Resultados de granulometría de la arcilla Roja de Cumbe.

# Malla	Diámetro (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pas. Acumulado
8	2.38	4,82	4,895	4,895	95,105
20	0.841	8,13	8,256	13,151	86,849
40	0.42	8,76	8,896	22,047	77,953
80	0.177	17,7	17,975	40,022	59,978
100	0.149	4,79	4,864	44,887	55,113
200	0.074	19,88	20,189	65,076	34,924
325	0.037	34,16	34,691	99,766	0,234
Residuo		0,23	0,234	100,000	
Total		98,47	100,000		



Cu	4,000
Cz	0,520
D10	0,045
D30	0,065
D60	0,180

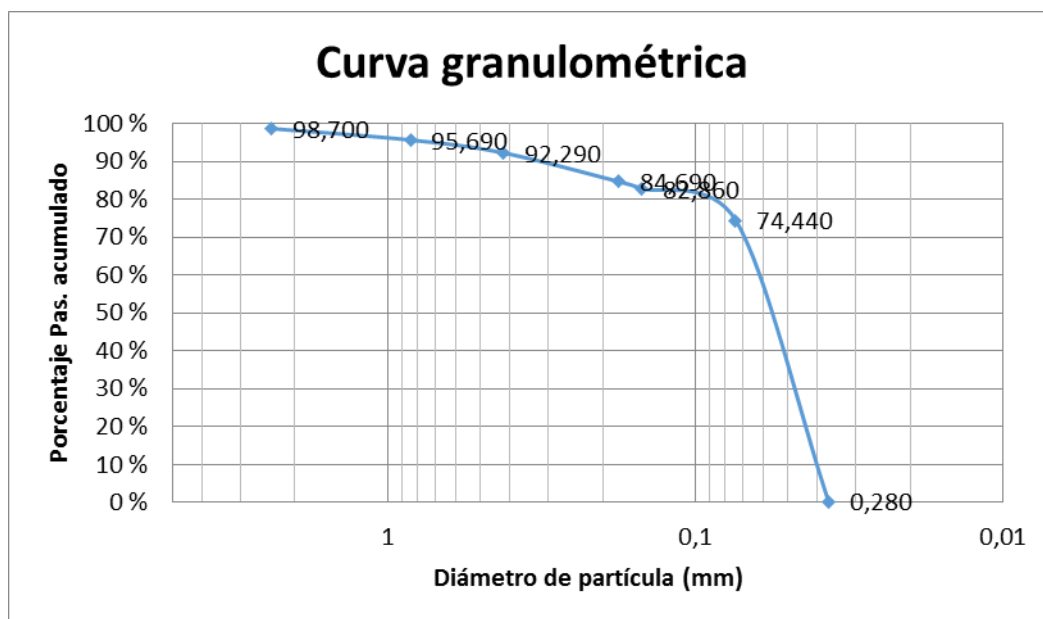
FUENTE: Las Autoras.

Material: Arcilla roja de Buenos Aires

Peso inicial tras deslamado: 31,53 g

Tabla 2.9 Resultados de granulometría de la arcilla Roja de Buenos Aires.

# Malla	Diámetro (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pas. Acumulado
8	2.38	1,3	1,300	1,300	98,700
20	0.841	3,01	3,010	4,310	95,690
40	0.42	3,4	3,400	7,710	92,290
80	0.177	7,6	7,600	15,310	84,690
100	0.149	1,83	1,830	17,140	82,860
200	0.074	8,42	8,420	25,560	74,440
325	0.037	74,16	74,160	99,720	0,280
Residuo		0,28	0,280	100,000	
Total		100	100,000		



Cu	1,530
Cz	0,980
D10	0,040
D30	0,049
D60	0,061

FUENTE: Las Autoras.

De acuerdo a los coeficientes de curvatura y uniformidad se tiene lo siguiente:

GRANULOMETRÍA	
A. MORADA	Muy uniforme
A. CERA	Muy uniforme
AR. SAN MIGUEL	Uniforme
AR. BUENOS AIRES	Muy uniforme
A. R. CUMBE	Uniforme
A. R. BUENOS AIRES	Muy uniforme

FUENTE: Las Autoras.

2.4 PLASTICIDAD

La plasticidad es la característica más sobresaliente de las arcillas, ya que ésta guarda una estrecha relación con la estructura laminar de las partículas y el agua. Sin el agua no existiría la plasticidad, pues las partículas no podrían deslizarse unas sobre otras. Por lo tanto, mientras más plástica sea una arcilla, más agua absorberá.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. Así, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

Se necesita un contenido de agua diferente si se torneá, modela, para moldes a presión, para vaciar, etc. Siempre se debe medir y contabilizar la cantidad de agua añadida al material seco para hacerlo plástico.

Así, un aumento de la plasticidad de una pasta produce:

- Mayor ductibilidad de los productos moldeados.
- Al retener una mayor cantidad de agua va existir una mayor contracción de secado y un aumento de la posibilidad de formación de grietas.
- Disminuye la velocidad de formación de pared en el caso de moldeo por colado.

2.4.1 Límites de Atterberg

Para determinar la plasticidad de las arcillas es necesario determinar el índice de plasticidad para lo cual se necesita el límite líquido y límite plástico.

El **límite líquido** (LL): Es el paso del estado líquido al plástico midiéndose por la cantidad de agua que contiene el material en el momento en que se pierde la fluidez de un líquido denso.



Figura 2.2 Equipo para determinar el límite líquido.
FUENTE: Las Autoras

El **límite plástico (LP)**: Es el paso del estado plástico al semisólido, la cual se mide por la cantidad de agua que contiene un material en el momento en que se pierde la plasticidad y deja de ser moldeable.

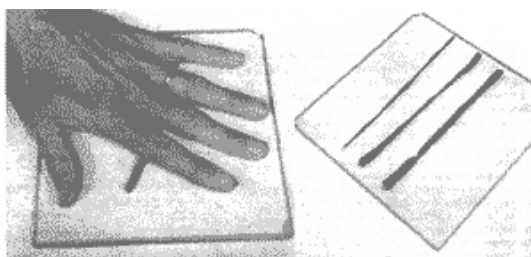


Figura 2.3 Determinación del límite plástico

FUENTE: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/11/normal-0-false-false-false.html>

El **índice de plasticidad (IP)**: Es el rango de humedad en el que la arcilla mantiene un comportamiento plástico. Siendo la diferencia entre los límites líquido y plástico Teniendo así la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

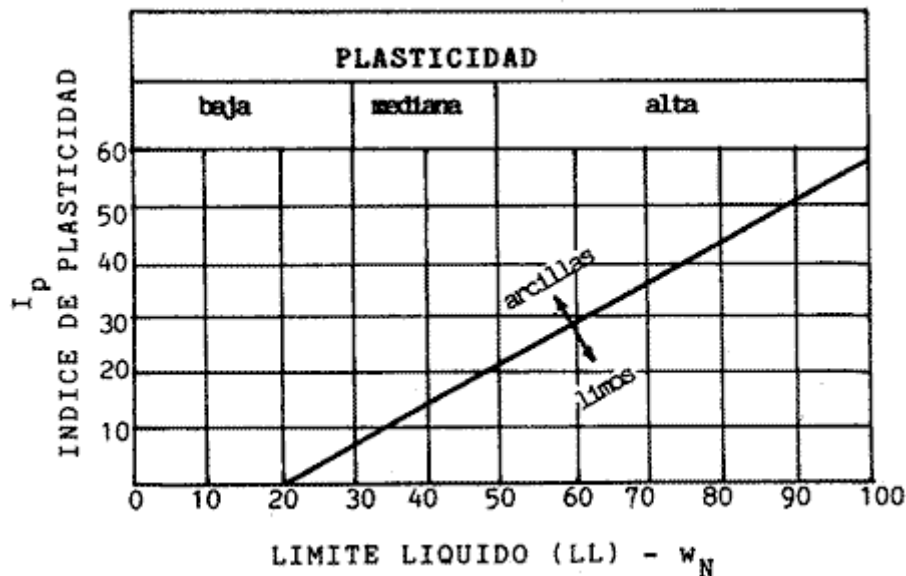


Figura 2.4 Diagrama de plasticidad según límites de Atterberg.

Fuente: <http://uningenierocivil.blogspot.com/2011/03/limites-de-atterberg-indice-de.html>

La plasticidad nos indica la cantidad de agua que necesita la arcilla o pasta para ser moldeable y mantener la forma dada, está relacionada con la finura de las partículas, así al tener menor tamaño las partículas, mayor será el índice de plasticidad, el agua absorbida actúa como lubricante y es el responsable del comportamiento plástico; además confiere a la arcillas o pasta, la habilidad de atraer iones a su superficie, dependiendo de los cationes absorbidos, la muestra tendrá diferentes propiedades de viscosidad, diferentes arreglos de partículas, entre otros.

PROCEDIMIENTO

Para la determinación de los mencionados índices se sigue el procedimiento dado en Tecnología Cerámica, explicado en el Anexo 1.3.

RESULTADOS.

Tabla 2.10 *Índice de plasticidad de arcillas usadas en la elaboración de tejas.*

MATERIAL	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD
Morada	27,8	20,68	7,13	Baja
Roja de Cumbe	31,2	20,48	10,72	Mediana
Roja de Buenos Aires	41,55	25,86	15,69	Mediana
Arenosa de San Miguel	31,8	19,67	12,13	Mediana
Arenosa de Buenos Aires	37,5	28,22	9,28	Baja
Cera	53,35	27,86	25,49	Alta

FUENTE: Las Autoras.

Tabla 2.11 *Índice de plasticidad de mezcla actual usadas en la elaboración de tejas.*

PASTA	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD
Artesanal	35,4	19,89	15,51	Mediana
Semi-mecanizado	34,8	21,07	13,73	Mediana

FUENTE: Las Autoras.

2.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE MATERIAS PRIMAS

- Las arcillas rojas de Cumbe y Buenos Aires tienen una composición química similar, al igual que las arenosas de San Miguel y Buenos Aires. La arcilla fina presenta una mayor de materia orgánica, lo cual se puede

apreciar en las pérdidas al fuego; las arcillas rojas y la morada tienen un contenido de óxido de hierro lo contribuye al color tras la quema.

- En cuanto a la granulometría, las arcillas rojas tienen porcentajes de retenidos similares, igual caso se presenta con las arcillas arenosas.
- La arcilla cera presenta una alta plasticidad lo que se relaciona con su alto porcentaje de contracción. Las arcillas rojas tienen una plasticidad media, sin embargo, la contracción de la roja de Cumbe es 3,76% menor a la Roja de Buenos Aires.
- Al momento de determinar el índice de plasticidad se observó un comportamiento inestable en la arenosa de San Miguel y la roja de Buenos Aires.
- Se decidió trabajar con las arcillas: roja de Cumbe, arenosa de Buenos Aires, morada y cera; debido a que presentan mejores características y mayor estabilidad para la realización de éste trabajo.

2.6 REQUISITOS ESTABLECIDOS PARA LAS TEJAS.

Los requisitos establecidos para las tejas que se usan como recubrimiento están dados por la norma INEN NTE 990, la cual establece la siguiente clasificación:

Tipo A. La teja común curva.

Tipo B. La teja común plana

Tipo C. La teja vidriada curva

Tipo D. La teja vidriada plana

De aquí se toma como parámetros la resistencia a la flexión y la absorción de agua como se indica en las siguientes tablas.

Tabla 2.12 *Requisitos de resistencia a la flexión de tejas.*

Tipo de teja	Resistencia a la flexión, en kg/cm ²	
	Promedio de cinco tejas	Mínimo para una teja cualquiera
A	100	80
B	70	55
C	100	80
D	70	55

Tabla 2.13 *Requisitos de absorción de agua de las tejas.*

Tipo de teja	Absorción de agua el porcentaje	
	Promedio de cinco tejas	Una teja cualquiera como máximo
A	18%	20%
B	20%	22%
C	12%	14%
D	14%	16%

Para nuestro estudio se tomará en cuenta las tejas tipo C correspondiente a la teja común curva vidriada, que es la que más se asemeja a las elaboradas tanto por los artesanales como por los semi-mecanizados.

En base a estos valores se realizó la determinación de la resistencia a la flexión y la absorción de agua de las tejas producidas actualmente tanto en el sector artesanal como semi-mecanizado con el fin de conocer si estas tejas cumplen con los requisitos establecidos y como punto de partida para ver si los cambios efectuados posteriormente afectan en algo a estos parámetros.

2.6.1 Resistencia a la flexión de tejas actuales

Este ensayo consiste en la aplicación de una fuerza al centro de un elemento, soportada en cada extremo con lo que se determina la resistencia de un material hacia una carga estática o aplicada lentamente.

La resistencia a la flexión está asociada con la plasticidad, empaquetamiento de las partículas, contracción y porosidad, por lo que el

resultado obtenido nos dará una idea clara del comportamiento de las partículas para cada una de las propiedades indicadas anteriormente.

La resistencia a la flexión nos da una idea de la resistencia mecánica que tiene la teja para soportar cargas, rodaduras o incluso algún golpe.

PROCEDIMIENTO

La teja se somete a una carga sobre su superficie a una velocidad determinada y constante.

Este ensayo se realizó en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca siguiendo la Norma INEN 988 correspondiente al Anexo 1.4.

RESULTADOS.

Los datos de esta tabla se obtuvieron al sacar los promedios en base al reporte de resultados entregados por el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería, correspondiente al Anexo 2.3.

Tabla 2.14 Resultado de la resistencia a la flexión en tejas elaboradas actualmente.

Tipo de Tejas	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)
Tejas artesanales bizcochadas	30,25
Tejas artesanales vidriadas	22,6
Tejas semi-mecanizadas bizcochadas	43,17
Tejas semi-mecanizadas vidriadas	42,32

FUENTE: Reporte de resultados de resistencia a la flexión. Anexo 2.3-2.4

2.6.2 Absorción de agua de tejas actuales

El objetivo de realizar este ensayo es determinar el porcentaje absorción de las tejas actuales y así realizar una posterior comparación con la nueva dosificación a proponer.

Es una medida indirecta de la porosidad abierta asequible de las tejas, es decir, es una medida indirecta del grado de vitrificación. Está relacionada directamente con la resistencia mecánica de las tejas.

La absorción de agua en las tejas se expresa como porcentaje entre la cantidad de agua absorbida por la teja y la masa seca de la misma.

PROCEDIMIENTO

Las tejas secadas a peso constante se llevan a ebullición en agua por una hora para lograr que todos los poros abiertos se llenen con la misma.

Para realizar este análisis se siguió la Norma INEN 989 correspondiente al Anexo 1.5.

RESULTADOS.

Tabla 2.15 *Resultado de absorción de agua en tejas elaboradas actualmente.*

Tipo de Tejas	% AA
Tejas artesanales bizcochadas	14,27
Tejas artesanales vidriadas	17,64
Tejas semi-mecanizadas bizcochadas	16,65
Tejas semi-mecanizadas vidriadas	15,54

FUENTE: Las Autoras.

2.7 Discusión de resultados de tejas elaboradas actualmente

- En el ensayo de resistencia a la flexión, la INEN establece valores promedios para las tejas curvas vidriadas de 100kgf; como se puede observar en los resultados obtenidos en las tejas elaboradas actualmente, las artesanales tienen un promedio de 22,6kgf y las semi-mecanizadas 42,32kgf siendo estos valores inferiores a los propuestos por la norma INEN 988.
- En el ensayo de absorción de agua, la INEN establece valores para las tejas curvas vidriadas de 12% en promedio respectivamente; como se puede observar en los resultados obtenidos en las tejas elaboradas

actualmente, las artesanales tienen promedios fuera de rango, observándose una mayor absorción en las tejas vidriadas; pero a pesar de ello, las tejas semi-mecanizadas tienen valores más cercanos a los establecidos por la norma INEN 989.

- Es por estas razones que también se ve la necesidad en este trabajo de mejorar la pasta de las tejas tanto artesanales como semi-mecanizadas para que los resultados a estos parámetros se acerquen cada vez más a los establecidos por las normas respectivas

CAPITULO 3: DISEÑO EXPERIMENTAL, ESTUDIO DE ACOUPLE PASTA-VIDRIO

3.1 BÚSQUEDA DE FRITAS EN EL MERCADO LOCAL

A nivel de la industria cerámica se acostumbra a utilizar fritas en el proceso de vidriado para dar un acabado brillante, impermeable y más resistente a la pieza. Sin embargo, como se ha tratado en el primer capítulo, en el área tejera todavía se acostumbra a realizar este proceso con vidrios crudos a base de óxido de plomo, razón por la cual se buscaron posibles sustitutos que trabajen a la temperatura de 850°C.

Entre los proveedores en esta ciudad se encuentran las empresas ESFEL S.A., Chi-Vit Ecuador S.A. y Acutejas, a las cuales se les solicitó fritas que puedan trabajar a esta temperatura y de ser posible libres de plomo, ellos nos proporcionaron las fritas que se muestran en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 *Fritas encontradas en el mercado.*

Frita	Empresa	Temperatura de vidriado (°C)
A2-CT 8220	Chi-Vit	800-1000
A3-CT 8300	Chi-Vit	800-1000
A5-CT 8200	Chi-Vit	800-1000
EFA-80	ESFEL S.A.	800-900
AT-01	Acutejas	850-1000

3.2 ANÁLISIS QUÍMICO DE ESMALTES

Era necesario conocer la composición de los vidrios crudos con los que trabajan actualmente los artesanos y de las fritas halladas en el mercado, para estar seguros de la cantidad de plomo a la que están expuestos los productores, y en qué cantidad va a mejorar el realizar el cambio de estos vidrios crudos por las fritas; para ello se mandó a analizarlos en el

CESEMIN, laboratorio en el que se usa el método de fusión con carbonatos, con extracción ácida y lectura por absorción atómica de llama que ya se indicó en el capítulo anterior

RESULTADOS

Los datos de esta tabla se obtuvieron en base al reporte de resultados entregados por el CESEMIN, correspondiente al Anexo 2.2.

Tabla 3.2 Resultado de Análisis Químico de vidrios crudos utilizados actualmente y fritas encontradas en el mercado local.

% ÓXIDO	VIDRIOS CRUDOS		FRITAS ENCONTRADAS				
	EI Lirio	Pan de Azúcar.	A2-CT 8220	A3-CT 8300	A5-CT 8200	EFA-80	AT-01
SiO ₂	7,1	18,72	58,62	58,59	59,53	25,27	47,41
Al ₂ O ₃	2,35	2,55	4,46	5,51	3,1	6,54	7,99
Fe ₂ O ₃	0,13	0,32	0,4	0,27	0,16	0,26	4,57
CaO	0,25	0,24	11,68	14,91	6,25	9,04	6,22
MgO	0,03	0,05	0,54	1,64	1,15	0,61	1,23
Na ₂ O	0	0	4,86	3,68	5,89	3,21	4,11
K ₂ O	0	0,01	0,77	0,39	0,46	0,1	0,12
PbO	65,27	62,91	N.C.	N.C.	N.C.	20,04	0,07
P. Fuego	17,12	8,27	0,35	0,35	0,28	5,74	2,6

FUENTE: Reporte de resultados de análisis químico de vidrios y fritas. Anexo 2.2

En la Tabla 3.2 se evidencia que los vidrios utilizados actualmente son prácticamente plomo y sílice, siendo el aporte de plomo superior al 60%, por lo que es urgente sustituirlo por una de las alternativas encontradas.

En el caso de las fritas entregadas por Chi-Vit, se observa la ausencia de plomo, siendo esto su mayor ventaja.

La frita de Esfel contiene el 20% de plomo, el cual se encuentra formando silicatos, lo que quiere decir que es un compuesto insoluble y no tóxico.

En el caso de Acutejas la presencia de plomo es despreciable, tal vez se deba a una contaminación de la muestra.

3.3 PRUEBAS PREVIAS DE LAS FRITAS ENCONTRADAS

Para seleccionar las fritas que mejor trabajan a 850°C se realizaron quemas en el horno eléctrico del Laboratorio de Cerámica de la Universidad de Cuenca, siguiendo el ciclo de quema obtenido del monitoreo de temperaturas, encontrándose los siguientes resultados.

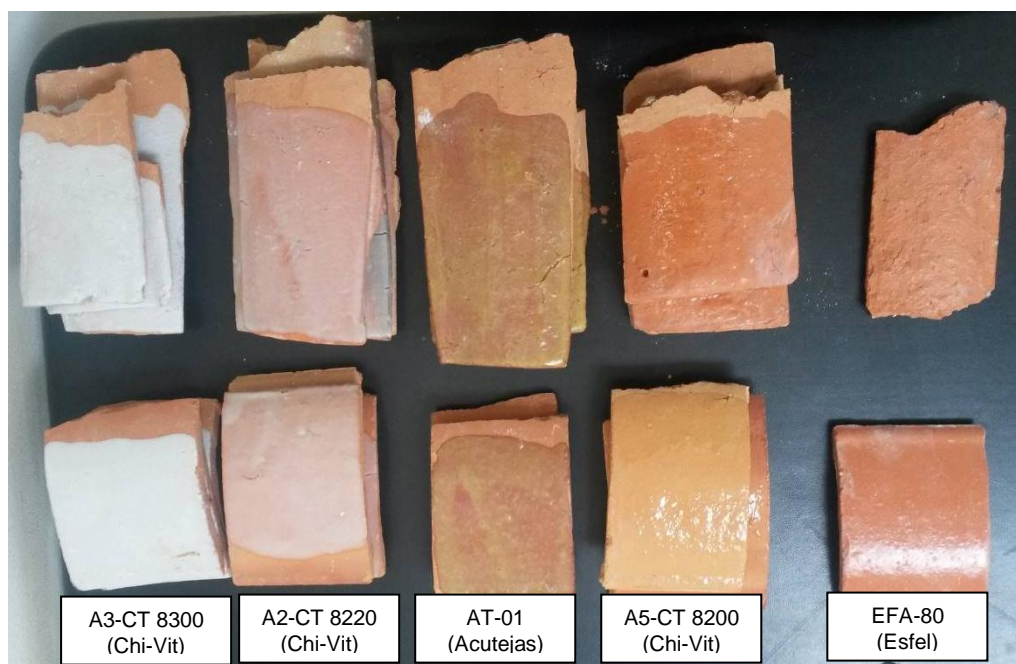


Figura 3.1 Pruebas previas realizadas en tejas artesanales (superiores) y semi-mecanizadas (inferiores) con cada frita.

FUENTE: Las Autoras.

Como se puede observar tanto para la pasta artesanal como para la semi-mecanizada, las fritas que mejor resultado y apariencia tienen para 850°C son EFA-80 y A5-CT 8200; mientras que las fritas restantes requieren de mayor temperatura para formar el vidrio.

3.4 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño de experimentos es la herramienta más importante que nos permite identificar que pruebas se deben realizar, mediante un arreglo determinado de unidades experimentales que permiten controlar el error

experimental y analizar las respuestas obtenidas de una manera estadística, respondiendo con éstas el problema que se haya planteado.

3.4.1 Definiciones básicas

1. **Experimento.** Se define como un conjunto particular de circunstancias, bajo un protocolo específico para observar y evaluar las implicaciones de las observaciones resultantes. El investigador determina y controla los protocolos de un experimento para evaluar y probar algo que en su mayor parte no se conoce hasta ese momento. (Kuehl)
2. **Unidad Experimental.** Se refiere a cada sujeto, objeto, entidad que representa un resultado del experimento.
3. **Factores.** Son las variables que se investigan en el experimento e influyen en las variables de respuesta, estos factores pueden ser controlables o no controlables. (GUTIERREZ & SALAZAR, 2008)
4. **Niveles y tratamientos.** Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores estudiados se llama tratamiento, es decir son el conjunto de circunstancias creadas con el fin de obtener una respuesta a la hipótesis.
5. **Error experimental.** “Corresponde a la variación entre las unidades experimentales tratadas, se puede dar por: 1) la variación natural entre las unidades experimentales; 2) la variabilidad en la medición de respuesta; 3) la imposibilidad de reproducir las condiciones con exactitud; 4) la interacción de los tratamientos con las unidades experimentales; 5) cualquier otro factor externo”. (Kuehl)
6. **Matriz de diseño:** Es el arreglo formado por los diferentes tratamientos que serán corridos, incluyendo las repeticiones.

3.4.2 Planeación y realización

A continuación, se enumeran los pasos secuenciales según GUTIERREZ & SALAZAR (2008) que se deben seguir para desarrollar un correcto diseño de experimentos:

1. Entender y delimitar el problema u objeto de estudio. En la etapa de planeación se deben hacer investigaciones preliminares que conduzcan a entender y delimitar el problema u objeto de estudio.
2. Elegir la(s) variable(s) de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable. La elección de esta(s) variable(es) es vital, ya que en ella se refleja el resultado de las pruebas. Por ello, se deben elegir aquellas que mejor reflejen el problema o que caractericen al objeto de estudio.
3. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta.
4. Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.
5. Planear y organizar el trabajo experimental. Con base en el diseño seleccionado, organizar y planear con detalle el trabajo experimental.
6. Realizar el experimento. Seguir al pie de la letra el plan previsto en la etapa anterior, y en caso de algún imprevisto, determinar a qué persona se le reportaría y lo que se haría.

Debido a que en el diseño de experimentos se trata con observaciones muestrales, con la ayuda de métodos estadísticos se determina si los efectos garantizan diferencias poblacionales; la técnica más utilizada es el análisis de varianza (ANOVA).

3.4.3 Selección del diseño

De acuerdo a GUTIERREZ & SALAZAR (2008) los cinco aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian por lo general nos llevan a cambiar de diseño, son:

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a estudiar.
3. El número de niveles que se prueban en cada factor.
4. Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

El factor que más influye siempre será el objetivo del experimento, dado que en este estudio se trabajará con mezclas de arcillas con las cuales se elaboran las tejas, y las respuestas obtenidas dependerán de las proporciones de cada arcilla, se considerarán los diseños de mezclas, además dentro de la cantidad de cada arcilla hay restricciones que nos permiten tener un rango adecuado de trabajo, se considerará un diseño de mezclas con restricciones conocido como Diseño de Vértices Extremos.

3.4.4 Diseño de vértices extremos

El diseño de vértices extremos es un diseño de mezclas con restricciones que corresponde a una sub-porción del diseño simplex debido a las restricciones del límite inferior y superior creado por los componentes, ya que con la ausencia de uno de ellos o la presencia de un único componente no se podría obtener el producto deseado o sus características no cumplirían con los requisitos establecidos.

Como se mencionó anteriormente, la respuesta en este caso no dependerá de la cantidad total o absoluta, dependerá de las proporciones de cada componente, la suma de estas proporciones siempre debe dar una cantidad fija, generalmente se trabaja con porcentajes o fracciones y la suma de los componentes debe dar siempre 100% o 1, como se indica en la ecuación 1.

$$X_1 + X_2 + X_3 + \dots + x_j = 1 \text{ (ecuación 1)}$$

Sin embargo, una vez establecidas las proporciones, estas se pueden expresar en cualquier unidad que sea conveniente dependiendo del objetivo del experimento. Además, cada componente está sujeto a límites inferior y superior:

$$L_j \leq X_j \leq U_j \text{ (ecuación 2)}$$

El área experimental a analizar puede formar un polígono irregular de varias formas, los puntos se eligen de manera que formen adecuadamente el espacio del diseño siempre respetándolas restricciones. Cuando la mezcla es ternaria con los límites impuestos anteriormente, su forma es la misma que la mostrada en la Figura 3.2



Figura 3.2 Representación de un diseño de vértices extremos para tres componentes con su polígono gris limitado por las restricciones.

FUENTE: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/doe/mixture-designs/what-is-an-extreme-vertices-design/>

Para determinar el posible número de combinaciones de las variables en base a las restricciones, se aplica la siguiente ecuación:

$$P_c = q \times 2^{(q-1)} \text{ (ecuación 3)}$$

Dónde: **q** corresponde al número de componentes de la mezcla.

Aplicación del diseño experimental

Debido a que en un comienzo se explicó que se trabajará con dos grupos de productores, uno artesano y otro semi-mecanizado, la aplicación de diseño experimental también se realizará para los dos grupos por separado, debido a la diferencia de arcillas utilizadas en su elaboración y al proceso en sí que realiza cada grupo.

3.4.5 *Diseño aplicado para el sector semi-mecanizado*

De acuerdo al documento “PROYECTO DE ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DE OXIDO DE PLOMO EN LA ELABORACION DE TEJAS: Sistematización de encuestas de línea base” se especifica las principales arcillas con las que se trabaja en el sector semi-mecanizado y son las siguientes: Fina de Santa Ana, Roja de Cumbe, Roja de Buenos Aires, Arenosa de San Miguel, Arenosa de Buenos Aires y Morada. Como se tienen seis componentes, se obtendría un diseño muy complejo y extenso, es por esta razón que se decidió seleccionar cuatro, considerando dos factores: facilidad de obtención y si dos arcillas tienen características similares.

De acuerdo a la caracterización de cada arcilla que se presentó en el Capítulo 3 y al hablar con el Sr. Rodrigo Sinchi, facilitándonos el uso de su taller y arcillas para este proyecto, se decidió trabajar con la arcilla Fina de Santa Ana, Roja de Cumbe, Arenosa de Buenos Aires y Morada; se eliminó la Roja de Buenos Aires y Arenosa de San Miguel ya que éstas son más difíciles de conseguir y no siempre cuentan con ellas para la elaboración de sus tejas.

Debido a la cantidad de componentes, en este caso arcillas, que forman la mezcla, se realizará el diseño de vértices extremos en el Laboratorio de Cerámica de la Universidad de Cuenca teniendo en consideración los siguientes aspectos:

- Se obtiene una mezcla de $q=4$ componentes.
- Las variables de respuesta serán y_1 =% de contracción al secado, y_2 =% de contracción a la quema, y_3 =% de contracción total, y_4 = % de absorción de agua.
- Los factores que se mantienen constantes son la granulometría, ya que todas las arcillas usadas fueron pasadas por la malla #8 ASTM, y los ciclos de quema usados tanto para el bizcochado como vidriado son los obtenidos del monitoreo de temperatura en los hornos artesanales.

A continuación, se establecen las variables para este modelo:

VARIABLES		% Actuales de cada arcilla en la pasta
Arcilla fina	x_1	14
Arcilla morada	x_2	14
Roja de Cumbe	x_3	43
Arenosa Buenos Aires	x_4	29

Los límites superiores e inferiores para cada componente de obtuvieron en base a los valores utilizados actualmente, así como las propiedades con las que aporta cada arcilla.

Variables		Límite Superior e Inferior	Motivo de la Restricción
Arcilla fina	x ₁	25	Se establece este límite superior, ya que al tener un alto índice de plasticidad, también tiene un alto porcentaje de contracción, si se usa en exceso produciría trizaduras en las tejas formadas.
		10	Esta arcilla tiene un alto índice de plasticidad, es decir ayuda a aglomerar todas las arcillas y dar forma a la teja con mayor facilidad.
Arcilla morada	x ₂	40	A temperaturas de 850°C produce expansión en la quema. Su exceso alteraría también el color de las tejas al hacerlas más moradas que rojas.
		15	Tiene un índice de plasticidad medio y baja contracción, tiene un alto contenido de hierro que actúa como fundente a la quema. Ayuda a mejorar el color.
Roja de Cumbe	x ₃	20	Tiene un índice de plasticidad medio, con respecto a la contracción, a 850°C se produce una expansión que puede alterar el acabado de la teja.
		5	Da el color característico a la teja, debido a la presencia de hierro actúa como fundente.
Arenosa Buenos Aires	x ₄	50	Tiene un bajo índice de plasticidad y contracción media, si se usa en exceso puede dificultar la formación de la teja.
		20	Debido a su bajo índice de plasticidad, ésta arcilla ayuda a regular el exceso de plasticidad y contracción de la arcilla fina, además permite mejorar el secado.

Las restricciones globales para este modelo son las siguientes:

$$x_1+x_2+x_3+x_4=100 \text{ de acuerdo a la ecuación 1}$$

$$0 < x_i < 100 \text{ de acuerdo a la ecuación 2}$$

Las restricciones para cada variable, en base a los límites propuestos serían:

$$10 < x_1 < 25$$

$$15 < x_2 < 45$$

$$5 < x_3 < 20$$

$$20 < x_4 < 50$$

De acuerdo a la ecuación 3, el posible número de combinaciones para este modelo sería de 32. Después de realizar las 32 posibles combinaciones y descartar aquellas que no cumplen con las restricciones establecidas, quedan las presentadas en la Tabla 3.3

Tabla 3.3 Matriz de diseño para el proceso semi-mecanizado.

TRATAMIENTOS	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	Total
1	10	40	20	30	100
2	25	15	20	40	100
3	25	40	5	30	100
4	10	40	5	45	100
5	25	15	10	50	100
6	25	40	15	20	100
7	10	20	20	50	100
8	25	20	5	50	100
9	10	35	5	50	100
10	25	35	20	20	100
11	15	15	20	50	100
12	20	40	20	20	100
Centroide	18,75	29,58	13,75	37,92	100

FUENTE: Las Autoras.

Para obtener las variables de respuesta establecidas, se realizaron placas de cada dosificación, en las cuales se determinó la contracción al secado (%CS), contracción a la quema (% CQ), contracción total (% CT) y absorción de agua (%AA).

Tabla 3.4 Resultados obtenidos con cada uno de los puntos experimentales para el proceso semi-mecanizado.

Tratamientos	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
	% CS	% CQ	% CT	% AA
1	6,767	0,500	7,267	18,55
2	7,627	0,373	8,000	16,81
3	7,860	0,540	8,400	16,30
4	7,273	0,293	7,567	18,50
5	7,700	0,500	8,200	16,19
6	8,000	0,333	8,333	16,71
7	7,273	0,193	7,467	24,74
8	8,640	0,360	9,000	18,24
9	8,620	-0,020	8,600	17,11
10	8,020	0,250	8,270	17,48
11	7,687	0,413	8,100	20,06
12	7,467	0,533	8,000	17,31
Cent.	7,337	0,197	7,533	17,07

FUENTE: Las Autoras.

En las placas además se consideraron características como facilidad de moldeo, tiempo de desmolde, apariencia y color a la quema, factores importantes para los productores al momento de realizar las tejas; se dio un valor a cada una de estas y se seleccionaron las dosificaciones de los diseños con mejores características.

Asignando los siguientes valores:

1	Muy bueno
2	Bueno
3	Regular
4	Malo
5	Muy malo

Tabla 3.5 Valoración de las placas formadas con cada tratamiento semi-mecanizado.

Tratamiento	Formación	Desmolde	Apariencia	Color	Promedio
1	3	2	3	2	2,50
2	4	2	2	3	2,75
3	2	2	2	1	1,75
4	3	3	2	1	2,25
5	2	2	3	3	2,50
6	2	3	2	1	2,00
7	3	1	2	3	2,25
8	4	3	2	2	2,75
9	2	2	1	2	1,75
10	3	3	1	1	2,00
11	3	1	2	3	2,25
12	2	2	2	1	1,75
Cent.	2	2	2	2	2,00

FUENTE: Las Autoras.

3.4.6 Análisis de la varianza

Es necesario comparar los tratamientos propuestos para determinar si al menos una de las variables influye en el tratamiento y determinar qué tan significativo es el diseño propuesto, esto se realiza mediante análisis de las varianzas una vez que se han obtenido las respuestas del diseño propuesto. La hipótesis fundamental es:

$$H_0: u_1 = u_2 \dots = u_q \quad \text{ó} \quad H_A: u_1 \neq u_2$$

La primera corresponde a la hipótesis nula que indica que los tratamientos son estadísticamente iguales, la segunda corresponde a la hipótesis alternativa que indica que al menos dos de los tratamientos son diferentes.

Para poder realizar este análisis se debe obtener un modelo matemático del diseño propuesto con cada una de las respuestas. Se propone un modelo lineal de primer orden para cada respuesta obtenida, en el caso de diseños de mezcla este modelo se conoce como forma canónica del modelo de primer orden para mezclas y se expresa de la siguiente manera:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i$$

Dónde: $E(y)$ es el valor esperado de la variable respuesta y .

β_i son los coeficientes del modelo canónico.

En caso de no ajustarse se procede a realizar un modelo cuadrático que responde a la siguiente ecuación:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j}^q \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j$$

Dónde: β_{ij} representa el exceso de la respuesta del modelo cuadrático sobre el lineal.

Una vez obtenido el modelo se procede a realizar el análisis de la varianza, que se obtiene completando la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 *Tabla ANOVA*

Fuente de la variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	F _{tab}
Tratamientos	SC _{Tr}	a-1	CMTr	CMTr/CME	F _{α, a-1, n-a}
Error	SC _E	n-a	CME		
Total	SC _T	n-1			

Fuente: Devore, Jay L.

Modelo matemático y ANOVA para la Contracción al Secado:

Con las respuestas obtenidas de la contracción al secado se realiza el procedimiento de mínimos cuadrados para obtener los coeficientes del modelo lineal propuesto, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$Y_1 = 14,052 * X_1 + 5,005 * X_2 + 4,932 * X_3 + 8,075 * X_4$$

Datos estadísticos	
σ^2	0,352
R^2	0,923
Rajustado	0,906

Como se puede observar el coeficiente de determinación (R^2) y el $R_{ajustado}$ nos indican que se tiene un buen ajuste entre el modelo y sus datos, lo que quiere decir que el modelo se explica en más de un 90%. De la ecuación se tiene que la variable que más influye en la contracción al secado es x_1 que corresponde a arcilla Fina.

Se realizó el análisis de la varianza con la prueba F de Fisher que se muestra en la siguiente tabla:

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	$F_{calculada}$	F_{tab}	p
Regresión	59,314	3	19,771	52,222	10,21	<0.001
Error	4,922	13	0,379			
Total	64,235	16				

Al ser el valor de $F_{calculada}$ mayor a F_{tab} y tener un coeficiente $p < 0,001$ se concluye que el modelo es útil y al menos uno de los coeficientes β_i contribuyen a explicar el modelo lineal.

Modelo matemático y ANOVA para la Contracción a la Quema:

Con las respuestas obtenidas de la contracción al secado se realiza el procedimiento de mínimos cuadrados para obtener los coeficientes del modelo lineal propuesto, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$Y_2 = 3,149 * X_1 - 0,311 * X_2 - 0,351 * X_3 + 0,071 * X_4$$

Datos estadísticos	
σ^2	0,122
R^2	0,843
Rajustado	0,807

Como se puede observar el coeficiente de determinación (R^2) y el $R_{ajustado}$ nos indican que se tiene un buen ajuste entre el modelo y sus datos, lo que quiere decir que el modelo se explica en más de un 80%. De la ecuación se tiene que la variable que más influye en la contracción a la quema es x_1 que corresponde a arcilla Fina.

Se realizó el análisis de la varianza con la prueba F de Fisher que se muestra en la siguiente tabla:

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	$F_{calculada}$	F_{tab}	p
Regresión	9,181	3	3,0603	23,293	10,21	<0.001
Error	1,709	13	0,1313			
Total	10,889	16				

Al ser el valor de $F_{calculada}$ mayor a F_{tab} y tener un coeficiente $p < 0,001$ se concluye que el modelo es útil y al menos uno de los coeficientes β_i contribuyen a explicar el modelo lineal.

Modelo matemático y ANOVA para la Contracción Total:

Con las respuestas obtenidas de la contracción al secado se realiza el procedimiento de mínimos cuadrados para obtener los coeficientes del modelo lineal propuesto, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$Y_3 = 16,742 * X_1 + 4,786 * X_2 + 4,642 * X_3 + 8,203 * X_4$$

Datos estadísticos	
σ^2	0,5713
R^2	0,9286
$R_{ajustado}$	0,9121

Como se puede observar el coeficiente de determinación (R^2) y el $R_{ajustado}$ nos indican que se tiene un buen ajuste entre el modelo y sus datos, lo que quiere decir que el modelo se explica en más de un 90%. De la ecuación se tiene que la variable que más influye en la contracción total es x_1 que corresponde a arcilla Fina.

Se realizó el análisis de la varianza con la prueba F de Fisher que se muestra en la siguiente tabla:

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	$F_{calculada}$	F_{tab}	p
Regresión	103,987	3	34,662	56,340	10,21	<0.001
Error	7,998	13	0,615			
Total	111,985	16				

Al ser el valor de $F_{calculada}$ mayor a F_{tab} y tener un coeficiente $p < 0,001$ se concluye que el modelo es útil y al menos uno de los coeficientes β_i contribuyen a explicar el modelo lineal.

Modelo matemático y ANOVA para la Absorción de Agua:

Para esta respuesta se realizó un modelo cuadrático que fue el que mejor ajuste dio, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Y_4 = -21,936 * X_1 + 11,747 * X_2 + 72,830 * X_3 + 23,047 * X_4 + 47,482 * X_{12} - 3,871 * X_{13} + 47,924 * X_{14} - 46,096 * X_{23} + 3,987 * X_{24} - 97,781 * X_{34}$$

Datos estadísticos	
σ^2	0,1268
R^2	0,8315
Rajustado	0,7753

Como se puede observar el coeficiente de determinación (R^2) y el $R_{ajustado}$ nos indican que no se tiene un buen ajuste entre el modelo y sus datos, el modelo se explica en un 83%. De la ecuación se tiene que la variable independiente que más influye en la absorción de agua es x_3 que corresponde a arcilla Roja de Cumbe.

Se realizó el análisis de la varianza con la prueba F de Fisher que se muestra en la siguiente tabla:

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	$F_{calculada}$	F_{tab}	p
Regresión	6,255	3	2,085	14,801	8,02	<0.010
Error	1,268	9	0,141			
Total	7,522	12				

Al ser el valor de $F_{calculada}$ mayor a F_{tab} y tener un coeficiente $p < 0,010$ se concluye que el modelo es útil y al menos uno de los coeficientes β_i y β_{ij} contribuyen a explicar el modelo propuesto.

Con los datos obtenidos se determinó que para las respuestas de contracciones con este diseño se tiene un modelo lineal, además, de la tabla de ANOVA se puede decir que hay variedad entre las variables propuestas con una significancia $<0,001\%$, es decir, el modelo propuesto para estas respuestas es útil y al menos una de las variables ayudan a explicar el modelo lineal. Sin embargo, la respuesta de absorción de agua se ajusta a un modelo cuadrático, de la tabla de ANOVA se puede concluir que al menos de una variable ayuda a explicar el modelo que tiene una significancia $<0,01\%$. Aunque no todas las respuestas respondan a un modelo lineal, todas tienen un valor significativo de p para el estudio F de Fisher.

Variables de selección de tratamientos para el Diseño de Mezclas para los Semi-mecanizados:

Los factores que influyeron para la selección de las dosificaciones fueron la contracción total, la absorción de agua considerando lo establecido en la norma INEN, para trabajar con valores cercanos a los establecidos en éstas y las características de apariencia.

Tratamiento	Contracción Total (%)	% AA	Valoración
1	7,267	18,555	2,50
2	8,000	16,814	2,75
3	8,400	16,303	1,75
4	7,567	18,497	2,25
5	8,200	16,187	2,50
6	8,333	16,711	2,00
7	7,467	24,738	2,25
8	9,000	18,238	2,75
9	8,600	17,111	1,75
10	8,270	17,477	2,00
11	8,100	20,061	2,25
12	8,000	17,306	1,75
Cent.	7,533	17,066	2,00

FUENTE: Las Autoras.

3.4.7 Diseño aplicado para el sector artesanal

De acuerdo al documento “PROYECTO DE ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DE OXIDO DE PLOMO EN LA ELABORACION DE TEJAS: Sistematización de encuestas de línea base” se especifica las principales arcillas con las que se trabaja en el sector artesanal y son la Arenosa y Fina.

Para este sector se realizó un diseño de proporciones, debido a que solo se utilizan dos tipos de arcilla, se procedió a variar los porcentajes de cada una de estas en un 10% ya que al ser la Fina muy plástica y la otra muy arenosa, basta con variar una pequeña cantidad en cierto punto para obtener características diferentes de la pasta, la matriz de diseño se presenta en la Tabla 3.7

Tabla 3.7 Matriz de diseño para el proceso artesanal.

Tratamiento	x ₁ (FINA)	x ₂ (ARENOSA)	TOTAL
1	10	90	100
2	20	80	100
3	30	70	100
4	40	60	100
5	50	50	100
6	60	40	100
7	70	30	100
8	80	20	100
9	90	10	100

FUENTE: Las Autoras.

Tabla 3.8 Resultados obtenidos con cada uno de los puntos experimentales para el proceso artesanal.

Tratamiento	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
	% CS	% CQ	% CT	% AA
1	9,493	0,290	9,783	19,14
2	9,567	-0,317	9,250	21,05
3	10,307	0,593	10,900	17,77
4	9,220	0,647	9,867	18,08
5	10,667	0,593	11,260	16,75
6	9,800	0,653	10,453	13,59
7	10,567	1,000	11,567	15,11
8	10,100	1,267	11,367	14,08
9	12,067	1,133	13,200	13,59

FUENTE: Las Autoras.

Al igual que en el caso anterior, se procedió a calificar los aspectos indicados como formación, desmolde, apariencia y color.

Tabla 3.9 Valoración de las placas formadas con cada experimento artesanal.

Tratamiento	Formación	Desmolde	Apariencia	Color	Promedio
1	3	2	1	1	1,75
2	1	2	1	1	1,25
3	1	2	1	2	1,5
4	2	3	2	2	2,25
5	3	3	2	2	2,5
6	3	3	3	3	3
7	4	4	5	5	4,5
8	5	5	5	5	5
9	5	5	5	5	5

FUENTE: Las Autoras.

Variables de selección de tratamientos para el Diseño de Mezclas para los Artesanales

Los factores que influyeron para la selección de las dosificaciones fueron la contracción total, la absorción de agua considerando lo establecido en las normas INEN, para trabajar con valores cercanos a los establecidos en éstas y las características de apariencia. Pese a que los tratamientos 6 al 10 presentan menor absorción de agua, estos no se consideran por su dificultad para formar la pieza y el excesivo tiempo que toma para su desmolde.

Tratamiento	Contracción Total (%)	% AA	Promedio
1	9,783	19,143	1,50
2	9,250	21,049	1,25
3	10,900	17,769	1,50
4	9,867	18,076	2,25
5	11,260	16,754	2,50
6	10,453	13,592	3,00
7	11,567	15,110	4,50
8	11,367	14,078	5,00
9	13,200	13,591	5,00

FUENTE: Las Autoras.

Los tratamientos seleccionados, por tener mejores características de formación color, apariencia, contracción y absorción de agua para las dosificaciones artesanal y semi-mecanizada fueron:

	Tratamiento	Nuevo Código
SEMI-MECANIZADOS	3	DE 1
	6	DE 2
	9	DE 3
	10	DE 4

	12	DE 5
ARTESANALES	2	DE 6
	3	DE 7
	4	DE 8
	5	DE 9
	6	DE 10

3.5 ACOUPLE PASTA-VIDRIO

El coeficiente de dilatación (α) se determina como la variación de la longitud del cuerpo en un determinado rango de temperatura. Este coeficiente es único para cada material, por lo que, para lograr un acople entre el vidrio y la pasta se debe buscar que la diferencia entre el coeficiente de estos dos sea mínima.

Durante la cocción, la pasta y el vidrio se dilatan con el calor, al enfriarse se contraen tanto como se hayan dilatado, si sus coeficientes de dilatación térmica difieren, se desarrollaran tensiones entre ambos que pueden provocar ruptura en uno de ellos o en los dos. Según Peñaherrera (2013), se pueden dar tres casos:

a. $\alpha_{\text{vidrio}} > \alpha_{\text{pasta}}$

Cuando el vidrio se dilata más que la pasta pero al enfriarse se contrae más que ella, produciéndose unas grietas en el esmalte, este efecto se llama **craquelado**.

b. $\alpha_{\text{vidrio}} = \alpha_{\text{pasta}}$

Al calentarse tanto el vidrio como la pasta estos se contraen igual. Este sería un acople ideal de pasta-vidrio, por lo cual no se da por los siguientes factores.

Expansión tardía o expansión por humedad debido a que en la fase de bizcocho, este absorbe algo de humedad atmosférica, por la

parte no vidriada de la pieza después de cierto tiempo, puede tardarse hasta años, expandiéndose esta fase lo que produce el craquelado de la pasta.

Una forma de probar si esto sucedera es el ensayo de determinación al cuarteado por autoclave, junto con la determinación de los coeficientes de dilatación térmica de las dos partes, pero estos resultados no son determinantes.

El vidrio es mas resistente en compresión, diez veces más que las pasta, por eso es recomendable tenerlo sometido a cierta compresión.

C. $\alpha_{\text{vidrio}} < \alpha_{\text{pasta}}$

Al calentar el vidrio se dilata menos que la pasta, pero al enfriarse se contrae menos, quedando flojo y pudiendo producir que no exista adherencia del vidrio a las pasta en especial a los filos.

- Se debe tener en cuenta que si la compresión a la que esta sometido el barniz es baja, es coeficiente de dilatación térmica del vidrio es hasta **0,06%**_{500-20°C} inferior al de la pasta, se obtendrá un buen acople pasta-vidrio y no se dará ningún efecto. Presentando el vidrio dos ventajas: es más resistente a la compresión y con el paso del tiempo puede compensar la expansión tardía del bizcocho.
- Si es mayor a estos valores puede producirse el defecto que se llama escamado y que consiste en el desconchado o saltado del vidrio, y cuando esta diferencia es mucho mayor puede ocasionar que las piezas se ropan dentro del horno o en un período posterior de varios días a su quema.

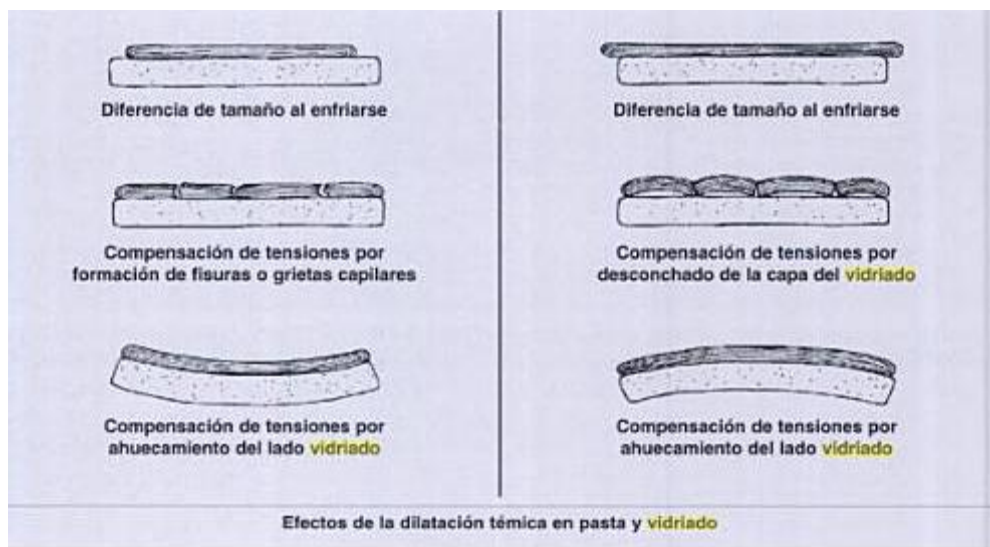


Figura 3.3 Efectos de la dilatación térmica en pasta y vidrio

FUENTE: Materiales Cerámicos. Propiedades, Aplicaciones y Elaboración/ Edma del Carmen Vázquez M./

PROCEDIMIENTO

La determinación de la dilatación térmica nos da una idea de cuánto se dilata, es decir, cuánto cambia la longitud tanto de la pasta como del vidrio en el rango de temperatura de estudio, este caso de 20 a 500°C. Con los valores obtenidos de las pastas y vidrios se puede comparar entre ellos para determinar cuales tienen un buen acople pasta-vidrio.

Los ensayos de dilatación térmica para las pastas y vidrios se llevaron a cabo en el laboratorio CESEMIN de la Universidad de Cuenca.

RESULTADOS.

Pastas originales

MUESTRA	CÓDIGO	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA (20-500°C): α (%)
ARTESANAL	AR	0,4913
SEMI-MECANIZADOS	SM	0,5233

FUENTE: Reporte de resultados de dilatación térmica. Anexo 2.5

Vidrios usados actualmente.

MUESTRA	CÓDIGO	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA (20-500°C): α (%)
VIDR. ARTESANAL	V. AR	0,5893
VIDR. SEMI-MECANIZADO	V. SM	0,6093

FUENTE: Reporte de resultados de dilatación térmica. Anexo2.6

Vidrios encontrados en el mercado.

MUESTRA	CÓDIGO	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA (20-500°C): α (%)
CHIVIT	A5	0,4033
ACUTEJAS	AC	0,4533
ESFEL	EFA-80	0,4093

FUENTE: Reporte de resultados de dilatación térmica. Anexo 2.7

Pastas obtenidas de diseño experimental

MUESTRA	CÓDIGO	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA (20-500°C): α (%)
SEMI-MECANIZADO	DE 1	0,3693
	DE 2	0,3693
	DE 3	0,3753
	DE 4	0,3573
	DE 5	0,3773
ARTESANAL	DE 6	0,3633
	DE 7	0,3593
	DE 8	0,3593
	DE 9	0,3453
	DE 10	0,3473

Fuente: Reporte de resultados de dilatación térmica. Anexo 2.8

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Tabla 3.10 *Diferencia de acople pasta-vidrio EFA-80.*

	Vidrio-pasta	α_{vidrio}	α_{pasta}	Diferencia
SEMI-MECANIZADOS	EFA 80-DE 1	0,4093	0,3693	0,04
	EFA 80-DE 2	0,4093	0,3693	0,04
	EFA 80-DE 3	0,4093	0,3753	0,034
	EFA 80-DE 4	0,4093	0,3573	0,052
	EFA 80-DE 5	0,4093	0,3773	0,032
ARTESANALES	EFA 80-DE 6	0,4093	0,3633	0,046
	EFA 80-DE 7	0,4093	0,3593	0,05
	EFA 80-DE 8	0,4093	0,3593	0,05
	EFA 80-DE 9	0,4093	0,3453	0,064
	EFA 80-DE 10	0,4093	0,3473	0,062

FUENTE: Las Autoras.

Tabla 3.11 *Diferencia de acople pasta-vidrio A5.*

	Vidrio-pasta	α_{vidrio}	α_{pasta}	Diferencia
SEMI-MECANIZADOS	A5-DE 1	0,4033	0,3693	0,034
	A5-DE 2	0,4033	0,3693	0,034
	A5-DE 3	0,4033	0,3753	0,028
	A5-DE 4	0,4033	0,3573	0,046
	A5-DE 5	0,4033	0,3773	0,026
ARTESANALES	A5-DE 6	0,4033	0,3633	0,04
	A5-DE 7	0,4033	0,3593	0,044
	A5-DE 8	0,4033	0,3593	0,044
	A5-DE 9	0,4033	0,3453	0,058
	A5-DE 10	0,4033	0,3473	0,056

FUENTE: Las Autoras.



De las diferencias de coeficientes de dilatación entre las pastas y los vidrios se puede observar que en todos los casos, los coeficientes de los vidrios son mayores a los de las pastas con valores menores al 0,06%, sin embargo se considera a las mezclas cuya diferencia es incluso menor, aunque se observó la presencia de craquelado en todos los casos, se intentará disminuir aún más la diferencia entre los coeficientes, para esto se puede moler las arcillas para aumentar la contracción de la pasta. No se trabaja con el vidrio ya que estos tienen características establecidas por las empresas que los fabrican.

CAPITULO 4: OPTIMIZACIÓN DE LA PASTA

De los diez tratamientos seleccionados en el capítulo anterior, se eligieron los que mejor aspecto presentaban con respecto al craquelado del vidrio, es decir un craquelado más grande, el cual es más fácil de eliminar en comparación que uno más fino, los tratamientos seleccionados fueron: D1, D3 y D5 de los semi-mecanizados, y D6, D7 y D8 correspondiente a las artesanales.

Seger hace las siguientes recomendaciones para eliminar el craquelado, haciendo modificaciones en la pasta.

1. Reducción del contenido de arcilla plástica y aumento del contenido del cuarzo.
2. Sustitución parcial del caolín por arcilla grasa plástica.
3. Molienda más fina de los materiales de sílice, cuarzo, arena, etc.
4. Cocción de la pasta cerámica a una temperatura más elevada

Con estos tratamientos seleccionados, se procedió a moler las arcillas usando un molino de martillos para disminuir la granulometría, aumentar la contracción y mejorar el acople pasta – vidrio, ya que mientras las partículas son más finas el craquelado debe desaparecer en el mejor de los casos o conseguir un craquelado más grande.



Figura 4.1 Molino de martillos empleada para moler las arcillas.
FUENTE: <http://www.medicalexpo.es/prod/ika/product-70924-446124.html>

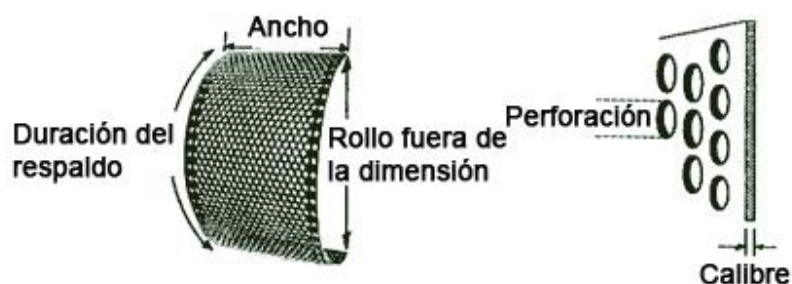


Figura 4.2 Partes de la criba del molino de martillos.
FUENTE: <http://www.machineryshops.com/es/product/Criba.html>

Para este proceso de realizarán placas, en cada prueba se modificará la granulometría, para evidenciar el craquelado de éstas se colocará en la superficie vidriada azul de metileno que ayudará a visibilizar el craquelado con mayor facilidad.

4.1 PRIMERA PRUEBA

Se comenzó moliendo las cuatro arcillas usando una criba de perforación de 1 mm, que es menor a los 2,26mm de abertura del tamiz #8 ASTM por el cual se pasó las arcillas usadas en las dosificaciones de diseño experimental, posteriormente se formó placas, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4.1 Contracción de pastas pasadas por una criba de 1mm, frita A5-CT 8200.

Tratamiento	Contracción al secado (%)	Contracción a la quema 850 °C (%)	Contracción Total (%)
DE 1	8,44	0	8,44
DE 3	8,78	-0,04	8,74
DE 5	8,84	-0,14	8,70
DE 6	9,46	0,54	10,00
DE 7	11,20	0,40	11,60
DE 8	10,18	0,58	10,76



Figura 4.3 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 1,0mm vidriadas con A5-CT 8200.

FUENTE: Las autoras.

Como se puede observar se logró el propósito con la placa DE3 y la frita A5-CT 8200. En los otros casos se decidió moler las arcillas por una criba más pequeña de perforación 0,5mm.

Tabla 4.2 *Contracción de pastas pasadas por una criba de 1mm, frita EFA-80.*

Tratamiento	Contracción al secado (%)	Contracción a la quema 850 °C (%)	Contracción Total (%)
DE 1	8,24	0,06	8,30
DE 3	9,00	0,40	9,40
DE 5	9,10	0	9,10
DE 6	9,20	0,60	9,80
DE 7	11,50	-0,10	11,40
DE 8	10,10	0,80	10,90



Figura 4.4 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 1,0mm vidriadas con EFA-80.

FUENTE: Las autoras.

Como se puede observar en el cuadro de contracciones y en las fotos no se pudo obtener ninguna mejora para ninguno de los casos con esta fritada, procediéndose a moler más fino.

4.2 SEGUNDA PRUEBA

Las cuatro materias primas se molieron esta vez usando una criba de perforación de 0,5mm.

Tabla 4.3 Contracción de pastas pasadas por una criba de 0,5 mm, frita A5-CT 8200.

Tratamiento	Contracción al secado (%)	Contracción a la quema 850 °C (%)	Contracción Total (%)
DE 3	8,36	-0,68	7,68
DE 5	8,48	-0,12	8,36
DE 6	8,80	-0,12	8,68
DE 7	10,28	-0,24	10,04
DE 8	11,10	0,25	11,35



Figura 4.5 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm vidriadas con A5-CT 8200.

FUENTE: Las autoras.

Se observó una mejora en la placa DE5, la placa DE3 volvió a tener un craquelado más fino, no se observó una mejora en el caso de la placa DE1 ni para las placas correspondientes a la dosificación artesanal.

Tabla 4.4 Contracción de pastas pasadas por una criba de 0,5 mm, frita EFA-80.

Tratamiento	Contracción al secado (%)	Contracción a la quema 850 °C (%)	Contracción Total (%)
DE 3	7,40	-0,20	7,20
DE 5	8,32	-0,26	8,06
DE 6	8,70	-0,06	8,64
DE 7	10,18	-0,08	10,10
DE 8	11,20	0,16	11,36



Figura 4.6 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm vidriadas con EFA-80.
FUENTE: Las autoras.

Del gráfico se puede ver que este caso existe una mejora significativa en las placas semi-mecanizadas, sin embargo, se evidencia una pequeña mejora para las artesanales.

Al no existir ninguna mejora para la placa DE1, se decidió descartarla y continuar los ensayos con el resto de placas que si tienen mejora.

4.3 TERCERA PRUEBA

Al no presentar cambios significativos con respecto al craquelado se procedió a añadir una quinta materia prima, en este caso la sílice que contribuye al aumento del coeficiente de dilatación térmica, reduciendo o eliminando el craquelado del vidriado.

Añadiéndose así un 10% sílice, al mismo tiempo quitando esta misma cantidad a la arenosa de Buenos Aires. Los materiales se molieron usando una criba con perforaciones de 1 mm de diámetro.

Tabla 4.5 *Dosificación de pastas en la elaboración de tejas con 10% de sílice.*

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Sílice
SEMI-MECANIZADOS	10	35	5	40	10
	20	40	20	10	10
ARTESANALES	20			70	10
	30			60	10
	40			50	10

FUENTE: Las Autoras.

Obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 4.6 *Contracción de pastas con 10% de sílice pasadas por una criba de 1 mm, frita A5-CT 8200.*

Tratamiento	Contracción al secado (%)	Contracción a la quema 850 °C (%)	Contracción Total (%)
DE 3	7,12	-0,20	6,92
DE 5	7,88	-0,48	7,40
DE 6	8,72	0,10	8,82
DE 7	9,78	0,46	10,24
DE 8	9,60	0,88	10,48



Figura 4.7 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 1,0mm, añadido el 10% de sílice, vidriadas con A5-CT 8200.
Fuente: Las autoras.

Al añadir Sílice se puede observar una mejora notable tanto para las dosificaciones de los tratamientos semi-mecanizados como para los artesanales.

Tabla 4.7 Contracción de pastas con 10% de sílice pasadas por una criba de 1 mm, frita EFA-80.

Tratamiento	Contracción al secado (%)	Contracción a la quema 850 °C (%)	Contracción Total (%)
DE 3	7,24	0,36	7,60
DE 5	7,66	-0,06	7,60
DE 6	8,88	0,28	9,16
DE 7	10,10	0,24	10,34
DE 8	9,94	0,50	10,44



Figura 4.8 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm, añadido el 10% de sílice, vidriadas con EFA-80.

FUENTE: Las autoras.

El vidriado con la frita EFA-80 presenta mejoras mínimas.

4.4 CUARTA PRUEBA

Esperando obtener mejores resultados, todas las materias primas se molieron usando una criba de 0,5 mm de perforación incluida la sílice, pero conservando el porcentaje de esta, así como en la prueba anterior.

Tabla 4.8 Contracción de pastas con 10% de sílice pasadas por una criba de 0,5 mm, frita A5-CT 8200.

Tratamiento	Contracción al secado (%)	Contracción a la quema 850 °C (%)	Contracción Total (%)
DE 3	8,36	-0,68	7,68
DE 5	8,48	-0,12	8,36
DE 6	8,8	-0,12	8,68
DE 7	10,28	-0,24	10,04
DE 8	11,1	0,24	11,34



Figura 4.9 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm, añadido el 10% de sílice, vidriadas con A5-CT 8200.

FUENTE: Las autoras.

Se observa que en las placas DE3 y DE5 el espacio entre el craquelado es mayor, lo que quiere decir que se está cumpliendo con el objetivo propuesto, en el caso de las artesanales, la placa DE6 presenta una mejora comparada con las otras.

Tabla 4.9 Contracción de pastas con 10% de sílice pasadas por una criba de 0,5 mm, frita EFA-80.

Tratamiento	Contracción al secado (%)	Contracción a la quema 850 °C (%)	Contracción Total (%)
DE 3	7,4	-0,2	7,2
DE 5	8,32	-0,26	8,06
DE 6	8,7	-0,06	8,64
DE 7	10,18	-0,08	10,1
DE 8	11,2	0,16	11,36



Figura 4.10 Placas de dosificaciones semi-mecanizadas y artesanales con sus arcillas pasadas por malla 0,5mm, añadido el 10% de sílice, vidriadas con EFA-80.

FUENTE: Las autoras.

Para la frita de EFA-80 no se observó ningún cambio muy significativo, pese a que se redujo la granulometría de las arcillas y se adicionó sílice.

Se puede seguir mejorando el aspecto del vidrio al adicionar más sílice, moliendo más fino las materias primas, y subiendo la temperatura de quema para el vidriado, sin embargo, el objetivo de este proyecto es realizar cambios que sean posibles para los productores de tejas, por esta razón no se considera el aumento de temperatura, ni la molienda más fina, ya que implica gastos extras y cambios en su proceso productivo como la adquisición de molinos y obtenerlos en base a un préstamo, deuda que no están dispuestos a adquirir.

Las placas que presentaron mejoras durante este proceso fueron:

- DE3, con sus arcillas pasadas por la criba de 1,0mm vidriadas con la frita A5-CT 8200.
- DE5, con sus arcillas pasadas por la criba de 0,5mm adicionado el 10% de sílice en su dosificación, vidriada con la frita A5-CT 8200.
- DE6, con sus arcillas pasadas por la criba de 1,0mm, adicionado el 10% de sílice en su dosificación, vidriada con la frita A5-CT 8200.
- DE7, con sus arcillas pasadas por la criba de 1,0mm, adicionado el 10% de sílice en su dosificación, vidriada con la frita A5-CT 8200.

4.5 DILATACIÓN TÉRMICA DE LAS PASTAS SELECCIONADAS

Como se explicó en el capítulo anterior, la diferencia entre la dilatación térmica de la pasta y el vidrio nos ayudarán a determinar si se tiene un buen acople pasta-vidrio.

Los ensayos de dilatación térmica para las pastas y vidrios se llevaron a cabo en el laboratorio CESEMIN de la Universidad de Cuenca.

RESULTADOS.

MUESTRA	CÓDIGO	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA (20-500°C): α (%)
SEMI-MECANIZADOS	DE3 M1,0	0,3453
	DE5 M0,5 10%Si	0,3353
ARTESANALES	DE6 M1,0 10%Si	0,3293
	DE7 M1,0 10%Si	0,3093

FUENTE: Reporte de resultados de dilatación térmica. Anexo 2.9

Tabla 4.10 Diferencia de acople pasta seleccionada-vidrio.

	Vidrio-pasta	α vidrio	α pasta	Diferencia
SEMI-MECANIZADOS	A5 - DE3 M1,0	0,4033	0,3453	0,058
	A5 - DE5 M0,510%Si	0,4033	0,3353	0,068
ARTESANALES	A5 - DE6 M1,0 10%Si	0,4033	0,3293	0,074
	A5 - DE7 M1,0 10%Si	0,4033	0,3093	0,094

FUENTE: Las Autoras.

Tanto para las pastas vidriadas con la frita A5-CT 8200 de Chi-Vit como para la vidriada con la frita EFA-80 de ESFEL S.A. se aumentó la diferencia de coeficientes, en comparación con las pastas cuyas arcillas fueron pasadas por la malla #8 ASTM.

Como se puede observar en la Tabla 53, la diferencia de los coeficientes esta en valores cercanos al 0,06%, y en los gráficos presentados se observó una mejora visible en estas placas; lo que quiere decir, que, a valores muy inferiores o superiores a éste, el craquelado puede presentarse más fino y es algo que se trata de evitar en los procesos de vidriado cerámico ya que a través de estos pequeños espacios la pieza puede ganar humedad, disminuir la resistencia e incluso mancharse.

CAPITULO 5: VALIDACIÓN EN CAMPO

Según Salkind (1997), la validez tiene tres aspectos relacionados: a) la validez se refiere a los resultados de una prueba y no a la prueba en si misma; b) la validez no es una cuestión de Todo o nada; esta puede variar desde poco válida hasta muy válida; y c) la validez de los resultados se debe interpretar dentro del contexto en el que ocurre la prueba. Por lo tanto, la forma de examinar la validez de un instrumento o de una prueba es determinar si la prueba se concentra en los resultados.

Una vez realizadas todas las pruebas en el laboratorio se procedió a realizar la validación en campo.

5.1 PROCESO DE VALIDACIÓN PARA LAS TEJAS ARTESANALES

En el caso de las tejas artesanales se utilizó la dosificación correspondiente al tratamiento D7, ya que éste presentaba las mejores características de apariencia y el craquelado no eran tan fino. Ésta prueba se llevó a cabo en el sector de Los Lirios, en la fábrica de propiedad de la Sra. Luzmila, las etapas fueron las siguientes:

1. Clasificación de materias primas.

Para esta dosificación se trabajó con 70% de arcilla arenosa y 30% de arcilla plástica.

2. Mezcla de la pasta.

Una vez seleccionada la arcillas, estas se colocan en un pozo, añadiéndole agua se empieza a batir con la ayuda de un caballo. Esta etapa dura aproximadamente 6 horas, obteniéndose así una pasta homogénea.

3. Formación de la teja.

Con la ayuda de un molde de madera y una tortuga (madera curva que da la forma a la teja), se elabora la teja manualmente.

4. Secado.

Formada la teja se la coloca bajo un galpón de cubierta plástica, dejándola ahí unas dos semanas aproximadamente, ya que el clima en ese momento no nos favorecía mucho.



Figura 5.1 Tejas formadas a mano para la validación.
FUENTE: Las Autoras

5.2 PROCESO DE VALIDACIÓN PARA LAS TEJAS SEMI-MECANIZADAS

El tratamiento seleccionado fue el D5, con mejores resultados. Esta la validación se llevó a cabo en el sector de Pan de Azúcar, en la fábrica de Don Rodrigo Sinchi, se realizaron las siguientes etapas:

1. Clasificación de materias primas.

En este caso la dosificación contenía 20% de Fina, 40% de Morada, 20% de Roja de Cumbe y 20 % de Arenosa de Buenos Aires.

2. Formación de la teja.

Previa a la formación se mezclan las arcillas, añadiendo una pequeña cantidad de agua, luego se la pasa por un molino de rodillos, para luego pasar a una extrusora, obteniéndose así la teja.



Figura 5.2 Tejas formadas en la extrusora.

FUENTE: Las Autoras

3. Secado.

Se las coloca bajo un techo cubierto, dejándola ahí unos tres días, colocándolas en una posición vertical, hasta que elimine una cierta cantidad de agua. Transcurrido ese tiempo se procede a separar las tejas y se las coloca sobre en el piso, para que se terminen de secar al calor del sol por un periodo de 10 a 15 días dependiendo del clima.

5.3 QUEMA Y VIDRIADO DE TEJAS ARTESANALES Y SEMI-MECANIZADAS

Primera quema.

Una vez secadas las tejas se llevó a cabo la primera quema, colocando tanto las tejas artesanales como semi-mecanizadas en un horno cuadrado del sector de Pan de Azúcar. Las tejas se colocaron en diferentes posiciones del horno, la quema tuvo una duración de 8 horas. Una vez bizcochada las tejas se dejó enfriar al ambiente, por dos días.

Vidriado.

Se procedió a vidriar las tejas tanto con los esmaltes de EFA-80 y A5-8200, con la ayuda de los trabajadores de la fábrica se colocaron las tejas en las cuatro camas que posee el horno.



Figura 5.3 Tejas artesanales y semi-mecanizadas con el esmalte EFA-80 y A5-8200.

FUENTE: Las Autoras

Segunda quema.



Figura 5.4 Colocación de las tejas en la cuarta cama del horno.

FUENTE: Las Autoras

Para esta quema se monitoreó las temperaturas a las que se realizó la quema, a continuación, se presenta en el gráfico el ciclo de quema.

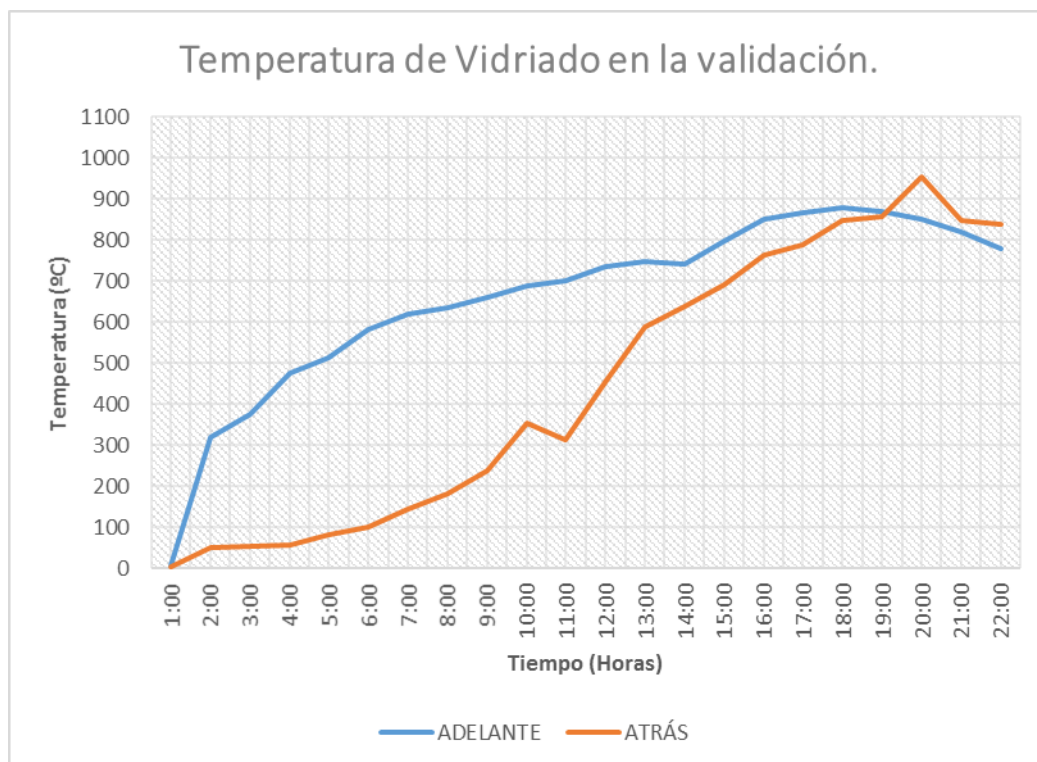


Figura 5.5 Curva de Temperatura de Vidriado vs. Tiempo para la validación.

FUENTE: Las Autoras

Llevándose a cabo por 22 horas, y luego dejándola enfriar por tres días.

Para las dos quemas se usó como combustible tronco de eucalipto y residuos de aserraderos.



Figura 5.6 Segunda quema en el horno artesanal de Don Rodrigo Sinchi.

FUENTE: Las Autoras



Figura 5.7 Resultado de tejas artesanales vidriadas con la frita EFA-80 y A5-8200.

FUENTE: Las Autoras



Figura 5.8 Resultado de tejas semi-mecanizadas vidriadas con la frita EFA-80.

FUENTE: Las Autoras



Figura 5.9 Resultado de tejas semi-mecanizadas vidriadas con la frita A5-8200.

FUENTE: Las Autoras

Se puede observar que tanto para las tejas formadas artesanalmente como para las semi-mecanizadas se obtuvo un mejor resultado con la frita EFA-80 que se ha vitrificado mejor y aporta más brillo a las tejas, mientras que a frita A5 CT-8200 no se encuentra del todo translucido, lo que quiere decir que necesita de una temperatura un poco mayor y condiciones de quema más estables para aportar más brillo. Al tener ésta frita una apariencia blanquecina luego de la quema para vidriada, ésta acentúa defectos de la teja debidos a la presencia de carbonatos que a 80°C explotan y provocan manchas en las superficies de las tejas, lo que las hace menos aceptadas por los clientes.

5.4 PRUEBAS QUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL PRODUCTO FINAL

5.4.1 *Análisis de lixiviación plomo*

Debido a que la frita EFA-80 contiene una cierta cantidad de plomo, se procedió a realizar este análisis de éste, el cual se realizó en el laboratorio del CESEMIN de la Universidad de Cuenca por el método de lixiviación ácida (pH=5) y Absorción Atómica.

	Muestra	Plomo mg/kg
Semi- mecanizada	DE 5 BT	0,98
	DE 5 AT	0,06
Artesanal	DE 7 AT	0,67
	DE 7 BT	0,56

Resultado obtenido del reporte correspondiente al Anexo 2.10

Las letras AT y BT corresponden a tejas tomadas tanto de la parte posterior como anterior del horno que alcanzan a temperaturas altas y bajas respectivamente.

De acuerdo con la Autoridad Ambiental del Ilustre Municipio de Quito, dentro del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental establece el valor de 5.0 ppm como la concentración máxima del plomo de acuerdo a su

característica de toxicidad con la prueba de lixiviación. Por lo tanto, como se presenta en la tabla de resultados, los valores obtenidos se encuentran considerablemente bajos comparados con el límite máximo establecido; por lo que se puede utilizar ésta frita en la elaboración de tejas.

5.4.2 Pruebas de absorción de agua.

Estas pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Cerámica de la Universidad de Cuenca. Siguiendo la norma INEN 989.

Los resultados son extraídos del Anexo 2.11, la cual se muestra en la Tabla 5.1

Tabla 5.1 Absorción de agua de las tejas artesanales y semi-mecanizadas.

Tipo de Tejas	% AA
Tejas artesanales bizcochadas	18,07
Tejas artesanales vidriadas (A5CT- 8200)	14,72
Tejas artesanales vidriadas (EFA-80)	15,23
Tejas semi-mecanizadas bizcochadas	16,08
Tejas semi-mecanizadas vidriadas (A5CT- 8200)	14,35
Tejas semi-mecanizadas vidriadas (EFA-80)	15,14

FUENTE: Las Autoras.

5.4.3 Pruebas de resistencia a la Flexión

Estas pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de resistencia de los materiales de la Facultad de un acople a este equipo para poder obtener los datos.

El informe completo se encuentra en el Anexo 2.11, los resúmenes de estos se muestran en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Resistencia a la flexión de tejas artesanales y semi-mecanizadas.

Tipo de Tejas	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)
Tejas artesanales bizcochadas	31
Tejas artesanales vidriadas (EFA-80)	43,5
Tejas artesanales vidriadas (A5CT- 8200)	30,60
Tejas semi-mecanizadas bizcochadas	58,33
Tejas semi-mecanizadas vidriadas (EFA-80)	88,75
Tejas semi-mecanizadas vidriadas (A5CT- 8200)	97,2

FUENTE: Reporte de resultados de resistencia a la flexión. Anexo 2.11



Figura 5.10 Ruptura transversal de la teja.

FUENTE: Las Autoras

5.4.4 Discusión de resultados.

Uno de los objetivos al realizar este trabajo fue el que, al optimizar la pasta para las tejas, estas tengan valores más cercanos a los establecidos en las Normas INEN 988 y 989 correspondiente a la resistencia a la flexión y absorción de agua respectivamente.

Los resultados obtenidos de absorción de agua e muestran en las siguientes tablas:

DESCRIPCION	ABSORCIÓN DE AGUA (%)		MEJORA (%)
	ACTUALES	PROPUESTAS	
Tejas semi-mecanizadas bizcochadas	18,402	16,08	2,322
Tejas artesanales bizcochadas	18,262	18,07	0,192

DESCRIPCIÓN	ABSORCIÓN DE AGUA (%)			MEJORA (%)	
	ACTUALES	EFA 80	A5 CT-8200	EFA 80	A5 CT-8200
Tejas semi-mecanizadas vidriadas	17,723	15,14	14,35	2,583	3,373
Tejas artesanales vidriadas	15,466	15,23	14,72	0,236	0,746

FUENTE: Las Autoras.

Se obtuvo un buen resultado en el acople pasta-vidrio, como se observó en las imágenes del capítulo anterior; además de observar una disminución en la absorción de agua:

- Para las tejas elaboradas con las dosificaciones propuestas para los semi-mecanizados, se observa una mejora del 2,76% en promedio y para las tejas artesanales se obtuvo una disminución del 0,40% en promedio.

Al disminuir la absorción de agua, ayuda a mejorar la resistencia, además evita el crecimiento de musgos en la superficie de las tejas.

DESCRIPCIÓN	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)		MEJORA (%)
	ACTUALES	PROPUESTAS	
Tejas semi-mecanizadas bizcochadas	43,17	58,33	15,16
Tejas artesanales bizcochadas	30,25	31	0,75

DESCRIPCIÓN	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)			MEJORA (%)	
	ACTUALES	EFA-80	A5 CT-8200	EFA-80	A5 CT-8200
Tejas semi-mecanizadas vidriadas	42,32	88,75	97,2	46,43	54,88
Tejas artesanales vidriadas	22,6	43,5	30,6	20,9	8

FUENTE: Las Autoras.

Los valores de resistencia subieron de la siguiente manera, tanto para las tejas artesanales como semi-mecanizadas:

- Para las tejas semi-mecanizadas bizcochadas la resistencia mejoró en un 15,16%, las tejas artesanales bizcochadas un 0,75%.
- Las tejas semi-mecanizadas vidriadas con EFA-80 tuvieron un incremento del 46,43% y con la frita A5-8200 un 54,88%. Las tejas artesanales vidriadas con EFA-80 un 20,9 % y con A5-8200 un 8%.

Se puede mejorar los valores tanto de absorción de agua como resistencia a la flexión al aumentar las dimensiones de las tejas tal como se indica en la norma INEN 986.

5.5 RECOMENDACIÓN NUEVA FRITA

Al culminar este trabajo la empresa CHIVIT, nos propuso realizar pruebas de laboratorio para caracterizar esta frita y posteriormente validar en un horno artesanal con una frita nueva, correspondiente al código 8220, la cual es más blanda.

Se realizaron pruebas rápidas de laboratorio, así como también se realizó la validación en campo en el horno perteneciente a Don Rodrigo Sinchi, colocando las tejas en diferentes lugares, obteniéndose mejores

resultados al dar a la teja más brillo y vitrificarse mejor que con la frita A5 CT-8200 de la misma empresa.

Debido a que la entrega se hizo al final, no se pudo realizaron pruebas de flexión y absorción como con las otras fritas. En la figura 5.11 se muestra los resultados del vidriado con la frita 8220.



Figura 5.11 Teja vidriada con la frita 8220.

FUENTE: Las Autoras

Como se puede observar en la imagen se presentan pequeñas áreas blancas en la teja, conocidas como eflorescencias esto se debe a la presencia de carbonatos en las arcillas que forman la pasta y al quemarla a 850°C para el vidriado, estos explotan dejando esas marcas; las mismas que dependiendo de su distribución en la pasta pueden provocar la fragmentación de la teja, además dan un aspecto no deseado a la teja, lo que provoca el rechazo por los clientes.

5.6 ANÁLISIS DE COSTOS

A continuación, se presenta el análisis de costos, usando vidrio crudo como la nueva frita propuesta tanto para los semi-mecanizados como los artesanales, basados en el levantamiento de línea base.

En la Tabla 5.3 se muestra los costos para 6000 tejas artesanales, usando vidrio crudo en el proceso de vidriado.

Tabla 5.3 Costos de materias primas en el proceso de vidriado en el caso de los artesanales, usando vidrio crudo.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD (Kg)	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
A. FINA	1056,00	0,0392	41,36
A. ARENOSA	2112,00	0,0392	82,72
COMBUSTIBLE	6087,27	0,0158	96,00
SÍLICE	25,00	0,33	8,25
ÓXIDO DE PLOMO	200,00	0,63	125,00
INVERSIÓN TOTAL POR LOTE			\$ 353,33

FUENTE: Las Autoras.

En la Tabla 5.4 se presentan los costos para 6000 tejas artesanales, usando fritas.

Tabla 5.4 Costos de materias primas en el proceso de vidriado en el caso de los artesanales, usando vidrio fritado.

ARTESANALES (6000 Tejas)			
MATERIA PRIMA	CANTIDAD (Kg)	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
A. FINA	950,40	0,039	37,224
A. ARENOSA	2217,60	0,039	86,856
TOTAL			124,08
COMBUSTIBLE	6087,27	0,016	96,00
A5CT-8200	90,00	1,57	141,30
EFA-80	91,45	2,30	210,34
INVERSION TOTAL POR LOTE (A5 CT-8200)			\$361,38
INVERSION TOTAL POR LOTE (EFA-80)			\$430,41

FUENTE: Las Autoras.

La Tabla 5.5 presenta los costos de las materias primas para 10000 tejas en el caso de los semi-mecanizados, usando vidrio crudo en el proceso de vidriado.

Tabla 5.5 Costos de materias primas para los semi-mecanizados, usando vidrio crudo.

MATERIA PRIMA	CANTIDAD (Kg)	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL\$
A. FINA	900	0,0392	35,25
A. MORADA	900	0,0550	49,50
A. ROJA DE CUMBE	1200	0,0433	52,00
A. ARENOSA DE BUENOS AIRES	2400	0,0392	94,00
COMBUSTIBLE	10145,45	0,0158	159,9937
SÍLICE	50	0,33	16,50
ÓXIDO DE PLOMO	350	0,63	218,75
INVERSIÓN TOTAL POR LOTE			\$ 625,99

FUENTE: Las Autoras.

La Tabla 5.6 indica los costos de las materias primas para elaborar 10000 tejas en el caso de los semi-mecanizados, usando vidrio fritado.

Tabla 5.6 Costos de materias primas para los semi-mecanizados, vidriadas usando fritas.

SEMI-MECANIZADOS (10000 Tejas)			
MATERIA PRIMA	CANTIDAD (Kg)	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
A. FINA	1200,00	0,039	47,00
A. MORADA	2400,00	0,055	132,00
A. ROJA DE CUMBE	1200,00	0,043	52,00
A. ARENOSA DE BUENOS AIRES	1200,00	0,039	47,00
TOTAL			278,00
COMBUSTIBLE	10145,45	0,016	160,00
FRITA			
A5CT-8200	225,00	1,57	354,14
EFA-80	155,81	2,30	357,71



INVERSIÓN TOTAL POR LOTE (A5 CT- 8200)	\$792,14
INVERSIÓN TOTAL POR LOTE (EFA-80)	\$795,71

FUENTE: Las Autoras.

OBSERVACIONES

Tanto en el caso de las tejas vidriadas con EFA-80 como las vidriadas con A5 CT-8220 se puede observar que los costos son mayores a los usados actualmente.

El cambio del vidrio crudo a base de óxido de plomo por las fritas crea un incremento en la inversión del 21% tanto lo la frita EFA-80 como A5 CT-8200 el caso de semi-mecanizados y 2% A5 CT-8200 y un 17,9% con EFA-80 para los artesanales. El incremento no representa valores muy excesivos y se compensa con los beneficios tanto para la salud de los productores y sus familias como en las características mecánicas de las tejas vidriadas con las fritas.

CONCLUSIONES

Al constatar en este trabajo que los productores de tejas actualmente utilizan un vidrio crudo compuesto por un 62,91-65,27% de óxido de plomo en el vidriado de las mismas se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- I. Es necesario y urgente sustituir el vidrio crudo por una de las fritas indicadas en este trabajo, considerando como primera opción a la frita A5 CT-8200 entregada por la empresa Chi-Vit que no contiene plomo; como segunda opción la frita EFA-80 proporcionada por la empresa ESFEL S.A. que, aunque contiene el 20% de plomo que se encuentra formando complejos que no son solubles ni tóxicos; sin embargo, al trabajar con esta frita, se debe garantizar que la temperatura de vidriado llegue a 850°C.
- II. El uso de diseño experimental de mezclas fue necesario para mejorar el acople pasta-vidrio con los sustitutos del vidrio crudo; se realizó el Diseño de Vértices Extremos para los semi-mecanizados y una cambiando las proporciones, aumentando una arcilla en 10% mientras otra disminuye en 10% para los artesanos, considerándose como respuesta para estos diseños: Contracción al secado, contracción a la quema, contracción total y absorción de agua. Se obtuvieron trece tratamientos para el sector semi-mecanizado y nueve para el artesanal, al realizar estos diseños se obtuvo que las mejores opciones fueron: DE1, DE3, DE9, DE10, DE12 para los semi-mecanizados y DE2, DE3 DE4, DE5, DE6 para los artesanos.
- III. Las mejoras se realizaron con los tratamientos D1, D3 y D5 para los semi-mecanizados y D6, D7 y D8 para los artesanales, las cuales presentaron mejor calificación al momento de ser evaluadas.

IV. Pese a cambiar las dosificaciones actuales tanto para los artesanos como semi-mecanizados, todavía se tenía un craquelado muy fino, se procedió a moler las arcillas por una malla de 1mm y 0,5mm, además de agregar sílice en la dosificación, para disminuir el coeficiente de dilatación de la placa y tratar de conseguir un buen acople, lo que se logró fue tener un craquelado más grueso lo que es favorable, aunque no ideal. Los tratamientos seleccionados fueron:

- a. DE3, con sus arcillas pasadas por la criba de 1,0mm vidriadas con la frita A5-CT 8200.
- b. DE5, con sus arcillas pasadas por la criba de 0,5mm adicionado el 10% de sílice en su dosificación, vidriada con la frita A5-CT 8200.
- c. DE6, con sus arcillas pasadas por la criba de 1,0mm, adicionado el 10% de sílice en su dosificación, vidriada con la frita A5-CT 8200.
- d. DE7, con sus arcillas pasadas por la criba de 1,0mm, adicionado el 10% de sílice en su dosificación, vidriada con la frita A5-CT 8200.

No se consideró otras opciones propuestas por Seger debido a que uno de los objetivos de esta tesis fue mantener las condiciones de trabajo de los productores de tejas: no se molió más fino porque esto implica para ellos la adquisición de un molino de martillos, el aumento de temperatura para el vidriado implica cambiar de combustible o de horno a uno de tiro invertido (solución que se plantea a futuro para los productores de tejas en este sector de Cuenca)

V. Para la validación en campo del sector semi-mecanizado se trabajó con la dosificación del tratamiento D5, y para el artesanal se usó el tratamiento D7; se elaboraron tejas con estas dosificaciones, vidriando las mismas con las fritas EFA-80 y A5 CT-8200 para su posterior quema en el horno del Sr. Rodrigo Sinchi.

- a. Se evidencia una mejora significativa en cuanto a la resistencia a la flexión, siendo éste más representativo en el caso de las tejas semi-mecanizadas vidriadas, siendo para las bizcochadas un 15,16%, las tejas artesanales bizcochadas un 0,75%.
- b. Las tejas semi-mecanizadas vidriadas con EFA-80 tuvieron un incremento del 46,43% y con la frita A5-8200 un 54,88%. Las tejas artesanales vidriadas con EFA-80 un 20,9 % y con A5-8200 un 8%.
- b) Para las tejas elaboradas con las dosificaciones propuestas para los semi-mecanizados, se observa una disminución del 2,76% en promedio para la absorción de agua, para las tejas artesanales se obtuvo una disminución del 0,40% en promedio.
- c) Al disminuir la absorción de agua, ayuda a mejorar la resistencia, además evita el crecimiento de musgos en la superficie de las tejas.

Las dimensiones en ambos casos son menores a las normalizadas, lo que implica una disminución en la resistencia a la flexión, que está en función de las mismas, evitando que se alcancen los valores indicados en la norma INEN 990, aunque la mejora en estos parámetros es notoria.

- VI. El análisis económico mostró un aumento en la inversión de la producción de tejas al utilizar las fritas A5 CT-8200 y EFA-80, sin embargo, las características técnicas de las tejas han mejorado considerablemente, acercándose cada vez más a cumplir con los requisitos establecidos por la norma INEN 990 pudiendo competir con las tejas elaboradas industrialmente; el uso de un vidrio fritado contribuye a que ya no se vea afectada la salud de los productores y sus familias.

RECOMENDACIONES

- I. Es necesario difundir los resultados obtenidos en este trabajo para que los productores de tejas tanto artesanales como semi-mecanizados se acostumbren a trabajar con estas fritas, para que estén conscientes del beneficio que producirá en su salud y de las personas de su entorno. Recomendamos además que se realice un asesoramiento y seguimiento a los productores para garantizar que tengan un tiempo de adaptación y conocimiento suficiente para trabajar con estas fritas. Esto implicaría elevar el costo de producción de las tejas, lo que se equilibraría al aumentar en proporción el precio de venta, para esto se recomienda realizar una guía de buenas prácticas, el cual tenga un aporte tanto de la parte técnica como de los productores ya que trabajando conjuntamente se podrá implementar cambios en el proceso que ayude a mejorar el producto que cada uno elabora, con lo cual se puede obtener mejores precios y ser más competitivos.
- II. Se ve además la necesidad de realizar otra tesis que proponga el incentivo a pequeños cambios tecnológicos, implementar controles de calidad mínimos y empezar a trabajar con buenas prácticas en la elaboración de tejas de los sectores mencionados en esta ciudad, con la finalidad de que los productores de tejas se acerquen más a cumplir con los controles de calidad establecidos en la Norma INEN 990 para las tejas.
- III. Al estar en la etapa final de este trabajo, la empresa Chi-Vit nos proporcionó una frita nueva con la que se realizaron pruebas de laboratorio y una quema en los hornos artesanales obteniéndose resultados positivos en el aspecto final de la teja, incluso mejores que con la frita entregada al comienzo. La empresa se comprometió a

mejorar esta frita para trabajar con la misma a futuro, se recomienda trabajar con una finura de $0,5\text{cm}^3/50\text{cm}^3$ pasada por malla #200 ASTM, ya que al ser las partículas más finas se produce un mejor acople pasta-vidrio, así el vidriado presenta menor defecto de craquelado. La empresa se encargará de vender esta frita ya molida con las especificaciones dadas y en sacos con todos los aditivos necesarios para su preparación.

- IV. Adquirir materias primas de buena calidad, ya que, para abaratar costos, algunos artesanos usan arcillas más económicas, pero esto no es bueno porque contienen muchas impurezas como carbonatos que no proporcionan buenas características al producto final.
- V. Antes de sustituir el vidrio crudo por un fritado se recomienda realizar una socialización con los artesanos de cada sector, dándoles a conocer los beneficios que obtendrían al trabajar con éste nuevo vidrio, así como la manera de trabajar con este producto, realizando pequeñas pruebas en cada uno de las quemadas de sus tejas hasta llegar a obtener un lote completo.
- VI. Con las fritas propuestas en el presente trabajo se puede llegar a eliminar el craquelado en las tejas, pero esto requiere de la implementación de otros equipos tales como un molino de martillos, ya que esto ayudaría a moler más fino las arcillas, además con esto las partículas se compactarían mejor, evitando que el producto final presente grietas. Otra recomendación es introducir un 10% de sílice dentro de su dosificación con el mismo fin.
- VII. La densidad del esmalte debe estar entre $1,55 - 1,60 \text{ g/cm}^3$, ya que si excede este límite no se consigue que se funda el vidrio totalmente, mientras que si este límite es menor, la teja absorbe toda



el agua y las partículas de la frita no se adhieren a esta, existiendo la ausencia de la capa de vidrio que se requiere.

- VIII. Se puede alcanzar los requisitos de las normas INEN, para lo cual, se debe elaborar tejas con las dimensiones establecidas en la norma INEN 986, además de recomienda quemar a mayores temperaturas, lo cual se logra en un horno de tiro invertido.
- IX. Para conseguir un vidriado uniforme de las tejas se recomienda mantener la temperatura del tramo final, es decir al llegar a los 850°C, la colocación de la leña debe ser constante, en intervalo de una hora.



ANEXOS



ANEXO 1

MANUAL DEPROCEDIMIENTOS.

En esta sección se presentan los métodos seguidos para la determinación de las diferentes propiedades tanto para arcillas como pastas, los mismos que se han obtenido de las Normas INEN 989 y 988, así como de la Tecnología Cerámica dictada en la Universidad de Cuenca.

Los métodos descritos son los siguientes.

ANEXO 1.1 MÉTODO PARA LA DETERMINAR EL PORCENTAJE A LA CONTRACCIÓN.

ANEXO 1.2 METODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA.

ANEXO 1.3 METODO PARA DETERMINAR LA PLASTICIDAD.

ANEXO 1.4 METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

ANEXO 1.5 METODO PARA DETERMINAR LA ABSORCIÓN DE AGUA.

ANEXO 1.1 METODO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE A LA CONTRACCIÓN.

CONTRACCION AL SECADO

EQUIPOS Y MATERIALES:

- Tamiz malla #8 ASTM
- Espátula
- Moldes rectangulares de yeso
- Calibrador pie de rey
- Hilo nylon, alambre de cobre

PROCEDIMIENTO:

- Triturar la arcilla seca y pasar por malla #8 ASTM.
- Amasar con una cantidad apropiada de agua, hasta que se crea que ha adquirido su máxima plasticidad. No debe ser demasiado húmeda hasta pegarse en los dedos, ni demasiado seca, lo que se determina porque las barras formadas de arcilla al doblarlas un poco se quiebran fácilmente.
- Formar cuatro placas sobre un molde de yeso dando unos golpes para que el material se compacte bien. Con un calibrador o pie de rey se hacen lo más pronto posible, sobre la arcilla dos marcas de 5 cm cada una.
- Sacar la placa del molde y dejar secar al ambiente (por 3 días).
- Cuando las placas estén secas, medir nuevamente las marcas. La merma o contracción se indica en tanto por ciento de la longitud original.

FORMULAS Y CALCULOS:

$$\%CS = \frac{(Lo - Ls) * 100}{Lo}$$

Donde:

- % CS = porcentaje de contracción al secado
- Lo = longitud inicial de la marca (5 cm).
- Ls = longitud final de la marca tras el secado

CONTRACCION A LA QUEMA

EQUIPOS Y MATERIALES:

- Calibrador pie de rey
- Horno

PROCEDIMIENTO:

- Quemar las placas de prueba de la contracción al secado a la temperatura indicada para la arcilla.
- Después de la quema, medir la distancia ente las marcas y, la contracción lineal que se encuentra, será la merma de secado más la merma o contracción a la quema.

FORMULAS Y CALCULOS:

$$\%CQ = \frac{(Ls - Lq) * 100}{Ls}$$

$$\%CT = \frac{(Lo - Lq) * 100}{Lo}$$

Donde:

- Lq = Longitud de la marca después de la quema
- Ls = Longitud de la marca tras el secado
- CQ = Contracción a la quema
- CT = Contracción total



Placas formadas para determinar la contracción.

ANEXO 1.2 METODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA: METODO HUMEDO-SECO

EQUIPOS Y MATERIALES:

- Batería de tamices
- Tamizador
- Balanza
- Estufa
- Recipiente para secado
- Pinzas



PROCEDIMIENTO:

- Tomar 200g de material seco y colocarlos en el tamiz más fino de la batería de tamices.
- Lavar suavemente con la yema de los dedos, hasta que el agua que sale por la parte inferior del tamiz salga completamente limpia.
- Pasar el material retenido a un recipiente para secarlo en una hornilla. Agitar con la ayuda de la pinza para evitar que se proyecte, hasta que esté completamente seco. Dejar enfriar.
- Pesar el material y colocarlo en el tamiz de arriba de la batería de tamices.
- Poner la batería de tamices en el tamizador y tamizar de 10 a 15 minutos dependiendo del material.
- Apagar el vibrador y dejar en reposo 2 minutos
- Sacar y pesar el material retenido en cada malla
- Calcular el porcentaje de material retenido en cada una. El material que paso por el tamiz más fino durante el deslamado se lo reporta como porcentaje de finos.

FORMULAS Y CALCULOS:

$$\%retenido = \left(\frac{P_i}{P_o} \right) * 100$$



Preparación de la muestra a ser analizada.

ANEXO 1.3 METODO PARA DETERMINAR LA PLASTICIDAD.

DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO

EQUIPOS Y MATERIALES:

- Balanza
- Capsula de porcelana
- Espátula
- Cuchara de plasticidad
- Herramienta acanalada
- Porta muestras
- Analizador de humedad
- Pinzas

PROCEDIMIENTO:

- Tomar 150g de la muestra previamente y colocarlos en una capsula de porcelana. Agregar agua hasta formar una masa que se homogeniza bien con la espátula.
- Colocar un poco de la muestra preparada en la cuchara y alisar con la espátula.
- Con la herramienta acanalada hacer una incisión en sentido vertical de tal forma que quede la masa separada en dos partes iguales.
- Golpear la cuchara contra su base mediante la manivela hasta que la masa se una unos 13mm.
- Anotar el número de golpes y tomar alrededor de 6g de masa de la cuchara y colocarla en un porta muestras para determinar la humedad en la estufa a 120°C por 24h o en el analizador de humedad hasta obtener peso constante.
- Realizar 3 determinaciones: una entre 25 y 35 golpes, otra entre 20 y 30 golpes y otra en 15 y 25 golpes. Esto se consigue variando la cantidad de agua en cada prueba. Cuando se realiza la prueba en cada punto debe repetirse tres veces la determinación y no puede variar más de ± 1 golpe para que se acepte ese valor para ese punto. Entre cada punto debe existir como mínimo 5 golpes de diferencia.

LIMITE PLASTICO

EQUIPOS Y MATERIALES:

- Tamiz malla 40
- Capsula de porcelana
- Espátula
- Balanza
- Plancha de vidrio
- Porta muestras
- Analizador de humedad

PROCEDIMIENTO:

- Colocar la muestra, previamente tamizada por malla 40, en una capsula y añadir agua hasta formar una masa que se homogeniza bien con la espátula.
- Tomar de 1.5 a 3g de la masa y hacer sobre la placa de vidrio una cinta de aproximadamente 3mm de diámetro haciéndola con la mano perder humedad hasta el momento que aparezcan unas trizaduras a lo largo de toda la cinta, esto debe hacerse como máximo en 3 minutos, si no aparecen en ese lapso las trizaduras, debe formarse nuevamente otra cinta partiendo de una mezcla menos húmeda.
- Cuando se obtienen las trizaduras cortar en pedazos y colocarlos en el porta muestras para determinar la humedad en la estufa a 120°C por 24h o en el analizador de humedad hasta obtener peso constante. La cantidad de agua expresada en porcentaje es el límite plástico.

FORMULAS Y CALCULOS:

$$Ip = Ll - Lp$$

Donde:

- Ip = Índice plástico.
- Ll = Índice líquido.
- Lp = Índice plástico.




Equipo utilizado para determinar el índice plástico.



Determinación del índice plástico.

ANEXO 1.4 METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

CDU: 666.72		CO 02-07-318
Norma Técnica Ecuatoriana	TEJAS CERAMICAS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION	INEN 988 1982-12
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo de las tejas cerámicas para comprobar su resistencia a la flexión.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma comprende las tejas cerámicas fabricadas de arcilla moldeada y cocida. No comprende las tejas fabricadas con materiales silicocalcáreos.</p> <p style="text-align: center;">3. RESUMEN</p> <p>3.1 El procedimiento descrito en esta norma se basa en la aplicación de una carga vertical progresiva sobre una teja colocada horizontalmente sobre soportes separados hasta llegar a la rotura de la teja.</p> <p style="text-align: center;">4. METODO</p> <p>4.1 Aparato</p> <p>4.1.1 Se utilizará una máquina apropiada para los ensayos de flexión. Las piezas de carga y apoyo serán de acero. Las partes en contacto con la muestra serán cilíndricas y las líneas de contacto deberán mantenerse perfectamente paralelas.</p> <p>4.2 Preparación de la muestra</p> <p>4.2.1 Se someterán al ensayo por lo menos cinco tejas enteras, desecadas en una estufa entre 110° y 115°C hasta obtener masa constante.</p> <p>4.2.2 Sobre el lomo o en la parte central de la muestra se preparará una superficie de 6 x 6 cm, con una capa plana de mortero de yeso calcinado para la aplicación de la carga.</p> <p>4.3 Procedimiento</p> <p>4.3.1 Colocar la muestra de ensayo, con el lomo hacia arriba, centrada sobre cuatro puntos de apoyo, dos en cada extremo o boca.</p> <p>4.3.2 Colocar los dos soportes de cada extremo exactamente a 15 cm de la línea transversal del centro de la teja, dejando, por lo tanto, un espacio libre de 30 cm entre los apoyos.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>		

NTE INEN 988

1982-12

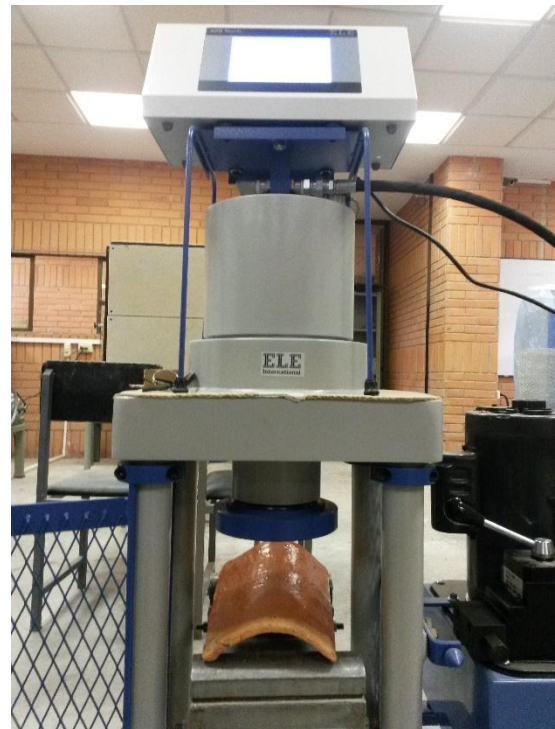
4.3.3 Aplicarla carga sobre la superficie preparada ala velocidad de 40 a 50 kg/min.

4.4 Cálculo e informe de resultados

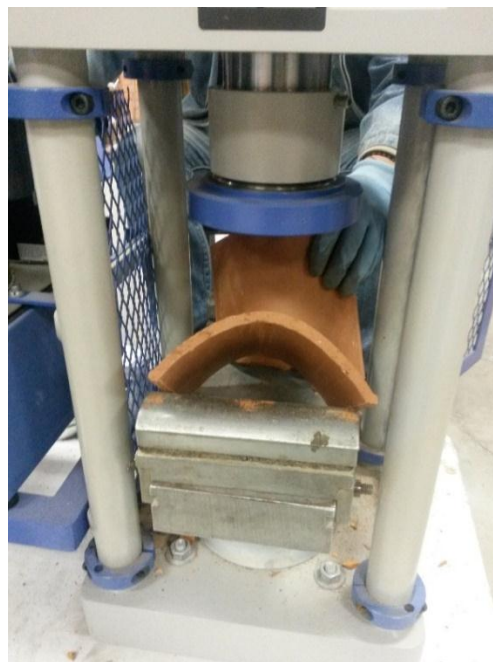
4.4.1 La resistencia a la flexión de cada muestra está dada por la carga de rotura que indique la máquina.

4.4.2 Se tomará como resultado la media aritmética de los valores obtenidos en las cinco muestras ensayadas, consignándose también los dos valores extremos.

(Continúa)



Equipo para flexión utilizado en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Arquitectura respectivamente.



Teja semi-mecanizada sometida al ensayo de resistencia a la flexión.



Ejemplo de los distintos tipos de rotura que sufrieron las tejas.

ANEXO 1.5 METODO PARA DETERMINAR LA ABSORCIÓN DE AGUA.

CDU: 688.72	INEN	CO 02.07-319
Norma Técnica Ecuatoriana	TEJAS CERAMICAS. DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA	INEN 989 1982-12
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo de las tejas cerámicas para determinar la absorción de agua.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma comprende las tejas cerámicas fabricadas de arcilla moldeada y cocida. No comprende las tejas fabricadas con materiales silicocalcáreos.</p> <p style="text-align: center;">3. RESUMEN</p> <p>3.1 El procedimiento descrito en esta norma se basa en la determinación de las masas de una muestra de tejas antes y después de sumergirse en agua, estableciéndose la diferencia entre las dos masas como base para conocer el valor de la absorción de agua.</p> <p style="text-align: center;">4. METODO</p> <p>4.1 Instrumental</p> <p>4.1.1 Balanza con capacidad mínima de 2 kg y con escala que permita lecturas hasta de 0,2 g.</p> <p>4.1.2 Estufa de desecación regulada a la temperatura de 110°C.</p> <p>4.2 Preparación de las muestras</p> <p>4.2.1 La muestra para el ensayo de absorción constará, al menos de cinco tejas enteras, o tres fragmentos representativos de cada una de las cinco. La masa de cada pieza no debe ser menor de 250 g.</p> <p>4.2.2 Las tejas enteras o las piezas representativas se desecarán en estufa a 110°C hasta obtener masa constante. Luego se enfriarán a la temperatura ambiente y se volverán a pesar. Si se observa un aumento de masa mayor del 1%, se repetirá la operación.</p> <p>4.3 Procedimiento</p> <p>4.3.1 Una vez preparadas las muestras y anotada su masa constante, sumergirlas en agua destilada o de lluvia, cuya temperatura se llevará hasta la ebullición, la cual se mantendrá durante una hora. Dejar enfriar el agua a la temperatura ambiental.</p> <p>4.3.2 Sacar las muestras del agua y dejar escurrir ésta durante un tiempo no mayor a un minuto.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>		

NTE INEN 989

1982-12

4.3.3 Volver a pesar las muestras húmedas anotando el valor de su masa.

4.4 Cálculo

4.4.1 La absorción de cada muestra, expresada en porcentaje, se calcula por la ecuación siguiente:

$$\text{absorción \%} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

4.5.1 El promedio de los valores de absorción obtenido en las cinco tejas o en sus fragmentos representativos, indica el porcentaje de absorción de agua del lote de tejas inspeccionado.

(Continúa)



Para realizar la absorción de agua, los trozos de tejas se colocaron en una olla grande, la cual se llenó de agua.



Absorción de agua, tejas sumergidas en agua llevada a ebullición por una hora.



ANEXO 2

REPORTES DE RESULTADOS.

En esta sección se presentan los resultados de los diferentes ensayos que se han realizado en los distintos laboratorios de la Universidad de Cuenca.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

ANEXO 2.1 REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO DE ARCILLAS UTILIZADAS EN LA ELABORACIÓN DE TEJAS.

ANEXO 2.2 REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO DE VIDRIOS CRUDOS USADOS ACTUALMENTE Y DE FRITAS ENCONTRADAS EN EL MERCADO LOCAL.

ANEXO 2.3 REPORTE DE FLEXIÓN DE TEJAS CERÁMICAS SEMI-MECANIZADAS ACTUALES.

ANEXO 2.4 REPORTE DE FLEXIÓN DE TEJAS CERÁMICAS ARTESANALES ACTUALES.

ANEXO 2.5 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE PASTAS ACTUALES.

ANEXO 2.6 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE VIDRIOS CRUDOS ACTUALES.

ANEXO 2.7 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE FRITAS ENCONTRADAS EN EL MERCADO LOCAL.


ANEXO 2.8 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE PASTAS PROPUESTAS POR EL DISEÑO EXPERIMENTAL.

ANEXO 2.9 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE PASTAS DE DISEÑO EXPERIMENTAL MEJORADAS.

ANEXO 2.10 REPORTE DE LIXIVIACIÓN DE PLOMO EN PASTAS VIDRIADAS CON EFA-80

ANEXO 2.11 REPORTE DE FLEXIÓN DE TEJAS CON NUEVA DOSIFICACIÓN VIDRIADAS CON EFA-80 Y A5 CT-8200

ANEXO 2.1 REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO DE ARCILLAS UTILIZADAS EN LA ELABORACIÓN DE TEJAS.

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS	N° RMG-0409-410- 411-412-413-414 Hoja 1 de 1
---	------------------------------	--

CLIENTE Nataly Álvarez

MUESTRAS: 6 MUESTRAS

FECHA: 2014-11-17

ANÁLISIS QUÍMICO

%OXIDO	Roja de Buenos Aires	Roja de Cumbe	Arenosa de Buenos Aires	Arenosa de San Miguel	Arcilla Morada	Arcilla Cera
SiO ₂	62,23	66,83	64,76	68,89	59,70	56,19
Al ₂ O ₃	20,11	17,63	17,09	16,47	24,52	24,49
Fe ₂ O ₃	7,09	6,00	5,82	5,04	7,06	4,98
CaO	0,19	0,19	0,18	0,51	0,01	0,28
MgO	0,31	0,64	0,62	0,41	0,28	0,41
Na ₂ O	0,13	0,21	0,09	0,26	0,23	0,11
K ₂ O	0,28	0,35	0,13	0,20	0,33	0,08
P. Fuego	9,48	7,63	11,32	8,22	7,37	13,45

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopia de Absorción Atómica.
- El CESEMIN no realiza el muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el Cliente. Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, fueron proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.


Responsable análisis


Director

cc. archivo


Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este el informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>

**ANEXO 2.2 REPORTE DE ANÁLISIS QUIMICO DE VIDRIOS CRUDOS
USADOS ACTUALMENTE Y DE FRITAS ENCONTRADAS EN EL MERCADO
LOCAL.**

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
A2-CT 8220	Frita 1 entregada por Chi-Vit
A3-CT 8300	Frita 2 entregada por Chi-Vit
A5-CT 8200	Frita 3 entregada por Chi-Vit
EFA-80	Frita entregada por ESFEL S.A.
AT01	Frita entregada por Acutejas
AR01	Vidrio crudo utilizado en Los Lirios
AR02	Vidrio crudo utilizado en Pan de Azúcar

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS	N° RMG-542-543- 544-545-546-547- 548 Hoja 1 de 1
---	------------------------------	---

CLIENTE Proyecto Tejas-Fac. Química

MUESTRAS: 7 MUESTRAS

FECHA: 2015-01-30

ANÁLISIS QUÍMICO

%OXIDO	A2-CT 8220	A3-CT 8300	A5-CT 8200	EFA-80	AT01	AR01	AR02
SiO ₂	58,62	58,59	59,53	25,27	47,41	7,10	18,72
Al ₂ O ₃	4,46	5,51	3,10	6,54	7,99	2,35	2,55
Fe ₂ O ₃	0,40	0,27	0,16	0,26	4,57	0,13	0,32
CaO	11,68	14,91	6,25	9,04	6,22	0,25	0,24
MgO	0,54	1,64	1,15	0,61	1,23	0,03	0,05
Na ₂ O	4,86	3,68	5,89	3,21	4,11	0,00	0,00
K ₂ O	0,77	0,39	0,46	0,10	0,12	0,00	0,01
PbO	N.C.	N.C.	N.C.	20,04	0,07	65,27	62,91
P. Fuego	0,35	0,35	0,28	5,74	2,60	17,12	8,27

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopía de Absorción Atómica.
- Límite de Cuantificación del Óxido de Plomo de acuerdo al método:
0,027%
- El CESEMIN no realiza el muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el Cliente. Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, fueron proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.


 Responsable análisis


 Director

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este el informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
 Cuenca - Ecuador
<http://fmc.ucuenca.edu.ec/cesemin/>

ANEXO 2.3 REPORTE DE FLEXION DE TEJAS CERÁMICAS SEMI-MECANIZADAS ACTUALES.



Fundada en 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA

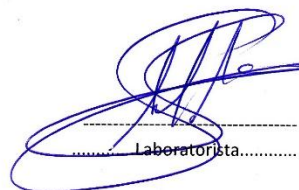
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec

Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO:	Sustitución del óxido de plomo en el vidriado de tejas
UBICACIÓN:	Sectores de Racar y San Sebastián
SOLICITADO POR:	Sr. William Lema, Srta. Marcela Chacho, Srta. Nataly Álvarez
DESCRIPCIÓN TEJAS:	Tejas curvas
FECHA:	23/04/2015
FLEXIÓN DE TEJAS CERÁMICAS	
INEN 988	

DATOS DEL ENSAYO							
Tejas Semimecanizadas Sin Vidriar							
Nomenclatura	Fecha de Rotura	PESO	(a)	(b)	Espesor (c)	L. APOYOS	C. ROTURA
		g	cm	cm	mm	cm	Kgf
RF1	15/12/2014	970,38	31,6	17,7	8,52	30	38,75
RF2	15/12/2014	928,99	31,4	17,15	8,5	30	42,83
RF3	15/12/2014	894,01	31,3	17,1	8,5	30	42,83
RF4	15/12/2014	928,470	31,5	17,2	8,2	30	14,28
RF5	15/12/2014	919,610	31,5	17,2	8,2	30	5,10
RB1	15/12/2014	869,360	31,2	17	8	30	38,75
RB2	15/12/2014	888,630	31,2	17	8,3	30	42,83
RB3	15/12/2014	905,130	31,2	16,8	8,5	30	67,30
RB4	15/12/2014	904,190	31,1	17,1	8,7	30	53,02
RB5	15/12/2014	867,190	30,8	17,5	8,3	30	62,20
T1R	12/01/2015	872,550	30,2	16,7	8,7	28,5	33,65
T2R	12/01/2015	885,390	30,5	16,9	8,6	28,5	47,93
T3R	12/01/2015	867,260	30,6	16,7	8,6	28,5	62,20
T4R	12/01/2015	860,630	30,5	17,1	9,1	28,5	38,75
T5R	12/01/2015	873,200	30,5	16,9	8,8	28,5	33,65


 Ing. Gerardo Arbito
 Jefe del Laboratorio de Geotécnia y Estructuras


 Laboratorio



Fundada en 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA**

laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec

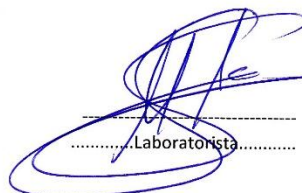
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO:	Sustitución del óxido de plomo en el vidriado de tejas
UBICACIÓN:	Sectores de Racar y San Sebastián
SOLICITADO POR:	Sr. William Lema, Srta. Marcela Chacho, Srta. Nataly Álvarez
DESCRIPCIÓN TEJAS:	Tejas curvas
FECHA:	23/04/2015
FLEXIÓN DE TEJAS CERÁMICAS	
INEN 988	

DATOS DEL ENSAYO							
Tejas Semimecanizadas Vidriadas							
Nomenclatura	Fecha de Rotura	PESO	(a)	(b)	Espesor (c)	L. APOYOS	C. ROTURA
		g	cm	cm	mm	cm	Kgf
RF6	15/12/2014	954,06	31,6	17,2	8,57	30	47,93
RF7	16/12/2014	928,56	31,55	17,2	8,08	30	38,75
RF8	17/12/2014	925,97	31,4	17,6	8	30	58,12
RF9	18/12/2014	895,300	31,3	17	8,05	30	53,02
RF10	19/12/2014	929,010	31,3	17,25	8,35	30	38,75
RB6	20/12/2014	924,240	31,2	17,1	8,5	30	53,02
RB7	21/12/2014	929,920	31,6	17,5	8,4	30	42,83
RB8	22/12/2014	882,730	31,2	17,1	8,5	30	62,20
RB9	23/12/2014	894,200	31,3	17,3	8,4	30	28,55
RB10	12/01/2015	899,500	31	17,1	8,6	30	42,83
T1	12/01/2015	858,520	30	17,1	8,6	28,5	58,12
T2	12/01/2015	865,040	30,2	16,7	8,44	28,5	53,02
T3	12/01/2015	886,660	30	17	9	28,5	28,55
T4	12/01/2015	871,940	30	17	8,75	28,5	42,83
T5	12/01/2015	869,050	29	16,9	8,7	28,5	81,58

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Laboratorio de Suelos
Ing. Gerardo Arbito
Jefe del Laboratorio de Geotécnica y Estructuras


Laboratorista.....

ANEXO 2.4 REPORTE DE FLEXION DE TEJAS CERÁMICAS ARTESANALES ACTUALES.



Fundada en 1867
UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA

laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec

Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO:	Sustitución del óxido de plomo en el vidriado de tejas
UBICACIÓN:	Sectores de Racar y San Sebastián
SOLICITADO POR:	Sr. William Lema, Srta. Marcela Chacho, Srta. Nataly Álvarez
DESCRIPCIÓN TEJAS:	Tejas curvas
FECHA:	23/04/2015
FLEXIÓN DE TEJAS CERÁMICAS	
INEN 988	

DATOS DEL ENSAYO							
Tejas Artesanales Sin Vidriar							
Nomenclatura	Fecha de Rotura	PESO g	(a) cm	(b) cm	Espesor (c) mm	L. APOYOS cm	C. ROTURA Kgf
AA6	12/01/2015	637,53	27	14,5	7,7	24	28,55
AA7	12/01/2015	651,19	27	14,6	8,3	24	38,75
AA8	12/01/2015	644,97	27,2	14,3	7,5	24	33,65
AA9	12/01/2015	636,610	26,8	14,3	8	24	28,55
AA10	12/01/2015	646,590	27	14,7	8,3	24	19,37
AB6	12/01/2015	658,940	27,4	14	8	24	440,51
AB7	12/01/2015	597,240	28	13,5	8	24	5,10
AB8	12/01/2015	645,010	27,3	14	9	24	14,28
AB9	12/01/2015	624,850	28	14	7,75	24	5,10
AB10	12/01/2015	659,270	28	14,2	8,1	24	458,87



Ing. Gerardo Arbito
Jefe del Laboratorio de Geotécnica y Estructuras

.....
Laborantista.....



Fundada en 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA**

laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec

Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO:	Sustitución del óxido de plomo en el vidriado de tejas
UBICACIÓN:	Sectores de Racar y San Sebastián
SOLICITADO POR:	Sr. William Lema, Srta. Marcela Chacho, Srta. Nataly Álvarez
DESCRIPCIÓN TEJAS:	Tejas curvas
FECHA:	23/04/2015
FLEXIÓN DE TEJAS CERÁMICAS	
INEN 988	


DATOS DEL ENSAYO							
Tejas Artesanales Vidriadas							
Nomenclatura	Fecha de Rotura	PESO	(a)	(b)	Espesor (c)	L. APOYOS	C. ROTURA
		g	cm	cm	mm	cm	Kgf
AA1	12/01/2015	569.5	27,2	14	8,2	24	19,37
AA2	12/01/2015	604.85	27	13,6	8,5	24	19,37
AA3	12/01/2015	626.17	27	14	7,8	24	19,37
AA4	12/01/2015	679.220	26,8	14,1	7,8	24	24,47
AA5	12/01/2015	696.990	26,8	14,2	8,5	24	33,65
AB1	12/01/2015	581.400	26,2	13,8	7,3	24	24,47
AB2	12/01/2015	562.030	26	13,2	7,5	24	9,18
AB3	12/01/2015	575.430	26	14,2	7,5	24	24,47
AB4	12/01/2015	583.460	25,75	14	7,5	24	28,55
AB5	12/01/2015	596.090	26,2	14	7,5	24	5,10

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Laboratorio de Suelos
Ing. Gerardo Arbito
Jefe del Laboratorio de Geotécnica y Estructuras

.....Laboratorista.....

ANEXO 2.5 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE PASTAS ACTUALES

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-0624 Hoja 1 de 1
--	--	-------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

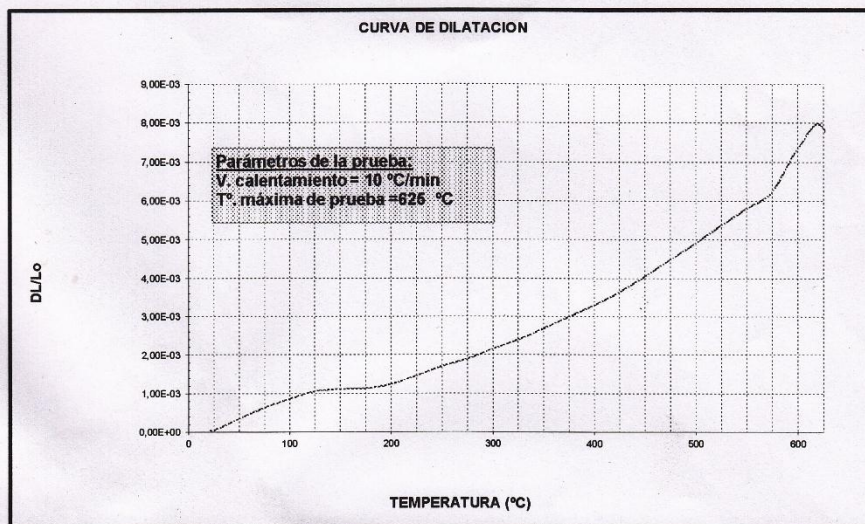
MATERIAL: ARTESANAL

Fecha: 2015-03-09


TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	7,869E-06	/°C	0,2400%
20 a 500 °C	1,024E-05	/°C	0,4913%
20 a 600 °C	1,268E-05	/°C	0,7357%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



 RESP. ANÁLISIS



 DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-0625 Hoja 1 de 1
--	--	-------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

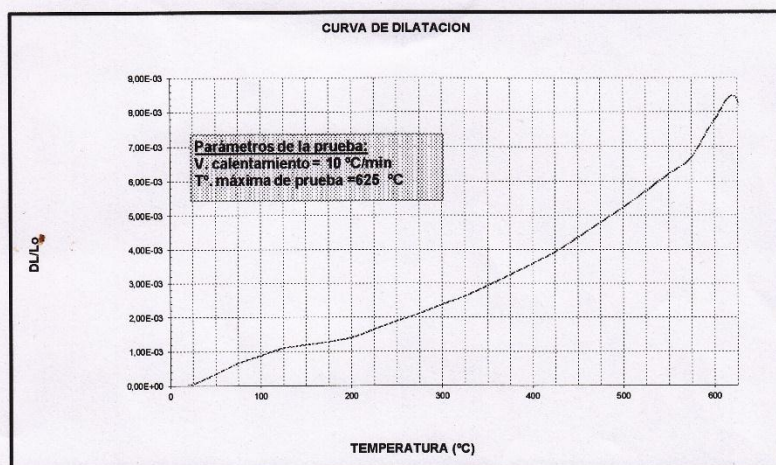
MATERIAL: SM

Fecha: 2015-03-10


TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	8,590E-06 /°C	0,2620%
20 a 500 °C	1,090E-05 /°C	0,5233%
20 a 600 °C	1,337E-05 /°C	0,7757%

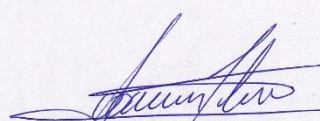
METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:




 RESP. ANÁLISIS



 DIRECTOR

ANEXO 2.6 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE VIDRIOS CRUDOS ACTUALES.

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-032 Hoja 1 de 1
--	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: SEMIMECANIZADO

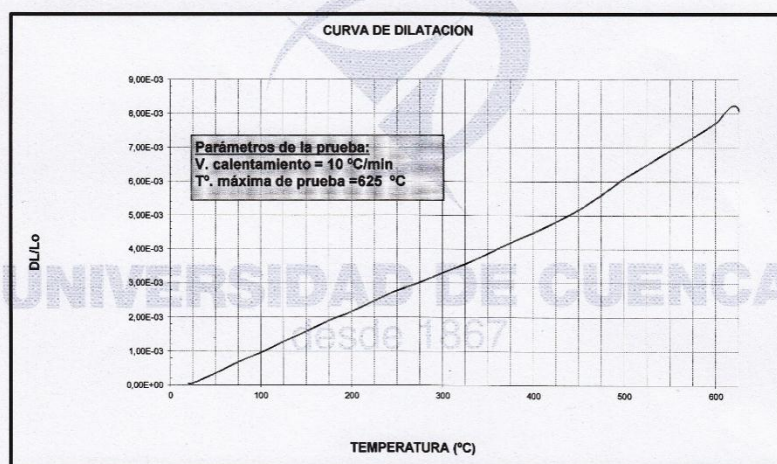
FECHA: 2015-03-20

CODIGO CESEMIN: MG0632


TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA:		
20 a 325 °C	1,167E-05 /°C	0,3560%
20 a 500 °C	1,269E-05 /°C	0,6093%
20 a 600 °C	1,331E-05 /°C	0,7717%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



 RESP. ANÁLISIS



 DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-0629 Hoja 1 de 1
--	--	-------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

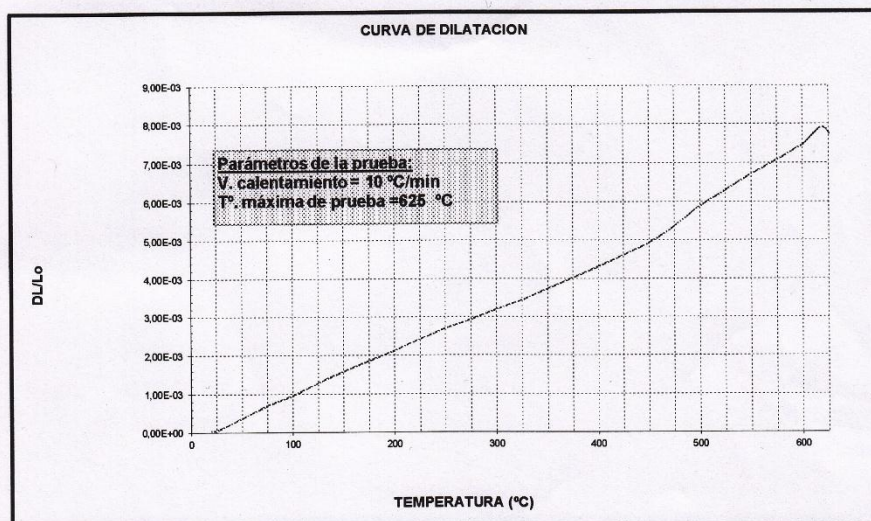
MATERIAL: VIDRIO ARTESANAL

Fecha: 2015-03-12


TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	1,128E-05	/°C	0,3440%
20 a 500 °C	1,228E-05	/°C	0,5893%
20 a 600 °C	1,286E-05	/°C	0,7457%

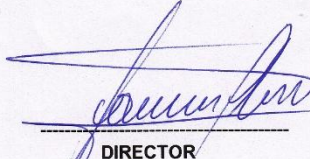
METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:




 RESP. ANÁLISIS



 DIRECTOR

ANEXO 2.7 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE FRITAS ENCONTRADAS EN EL MERCADO LOCAL.

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-0627 Hoja 1 de 1
--	--	-------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

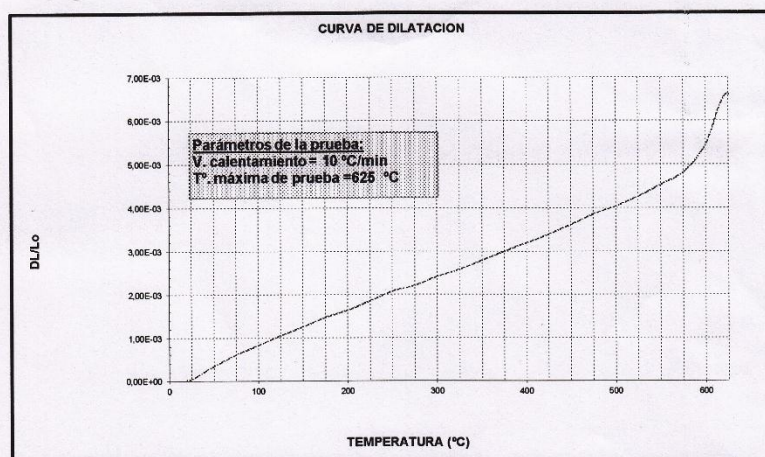
MATERIAL: A5 CHIVIT

Fecha: 2015-03-11

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	8,459E-06 /°C	0,2580%
20 a 500 °C	8,402E-06 /°C	0,4033%
20 a 600 °C	9,374E-06 /°C	0,5437%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS



DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-631 Hoja 1 de 1
--	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

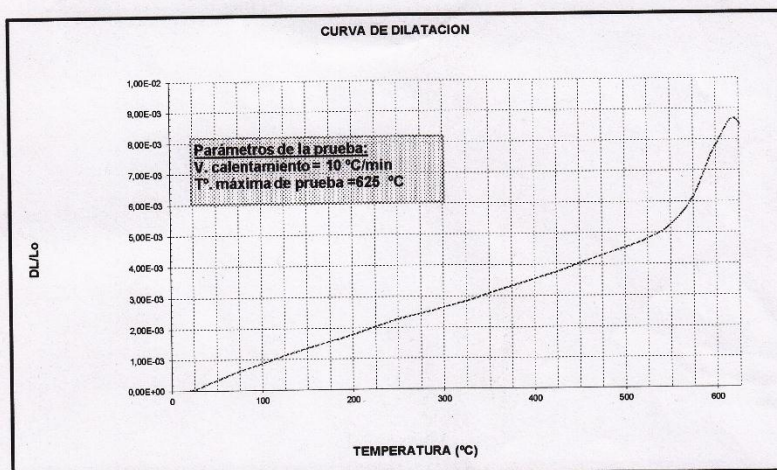
MATERIAL: ACUTEJAS

Fecha: 2015-03-17

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	9,377E-06 /°C	0,2860%
20 a 500 °C	9,444E-06 /°C	0,4533%
20 a 600 °C	1,348E-05 /°C	0,7817%

METODO: CESEMIN 092:C009




OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS



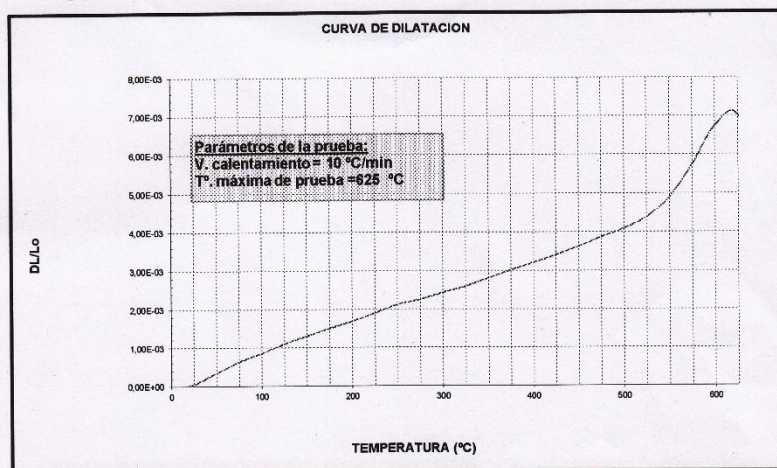
DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-0628 Hoja 1 de 1
--	--	-------------------------


CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS
MATERIAL: EFA 80
Fecha: 2015-03-11
TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	8,525E-06 /°C	0,2600%
20 a 500 °C	8,527E-06 /°C	0,4093%
20 a 600 °C	1,162E-05 /°C	0,6737%

METODO: CESEMIN 092:C009




OBSERVACIONES:


RESP. ANÁLISIS


DIRECTOR

ANEXO 2.8 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE PASTAS PROPUESTAS POR EL DISEÑO EXPERIMENTAL.

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-661 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 1

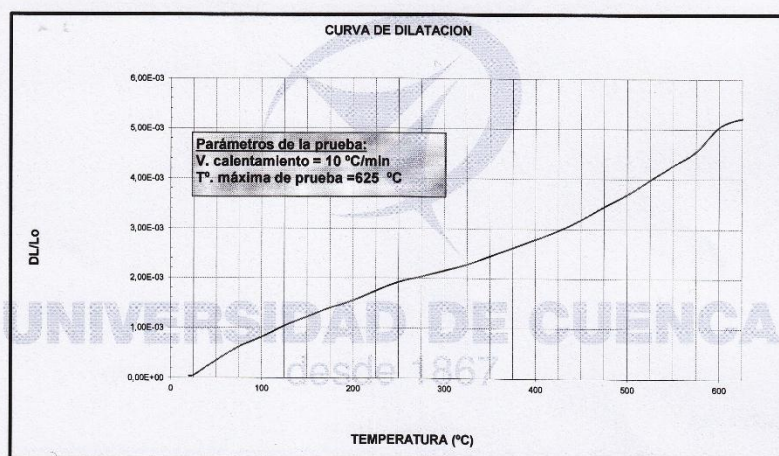
FECHA: 2015-04-08

CODIGO CESEMIN: MG0661


TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C


COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA:		
20 a 325 °C	7,475E-06 /°C	0,2280%
20 a 500 °C	7,694E-06 /°C	0,3693%
20 a 600 °C	8,684E-06 /°C	0,5037%


METODO: CESEMIN 092.C009



OBSERVACIONES:


 RESP. ANÁLISIS


 DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-662 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 2

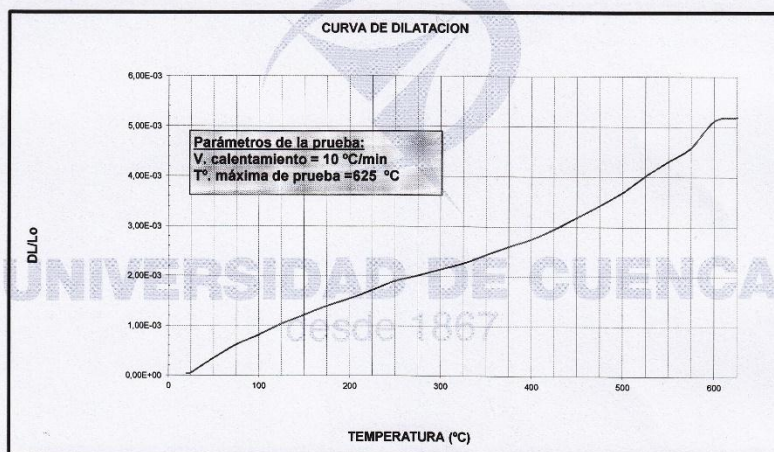
FECHA: 2015-04-08

CODIGO CESEMIN: MG0662

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA:		
20 a 325 °C	7,410E-06 /°C	0,2260%
20 a 500 °C	7,694E-06 /°C	0,3693%
20 a 600 °C	8,822E-06 /°C	0,5117%

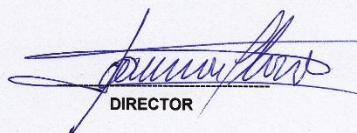
METODO: CESEMIN 092:C009




OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS



DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Metales Metálicos y No Metálicos CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-663 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 3

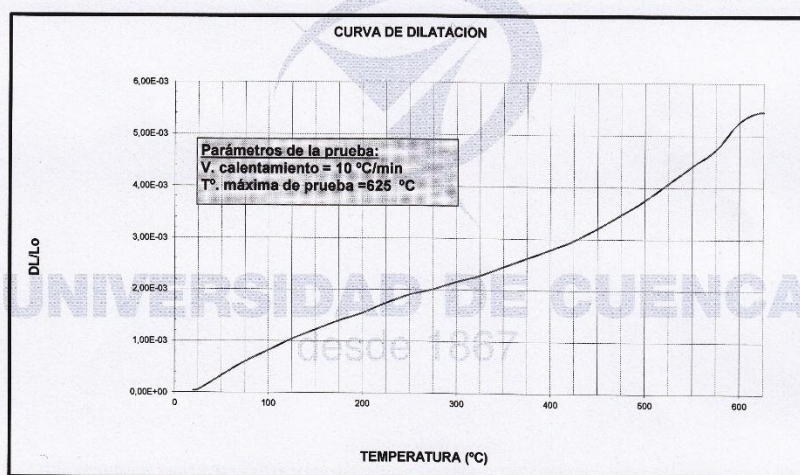
FECHA: 2015-04-09

CODIGO CESEMIN: MG0663


TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA:		
20 a 325 °C	7,475E-06 /°C	0,2280%
20 a 500 °C	7,819E-06 /°C	0,3753%
20 a 600 °C	9,064E-06 /°C	0,5257%


METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:


 RESP. ANÁLISIS


 DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-664 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 4

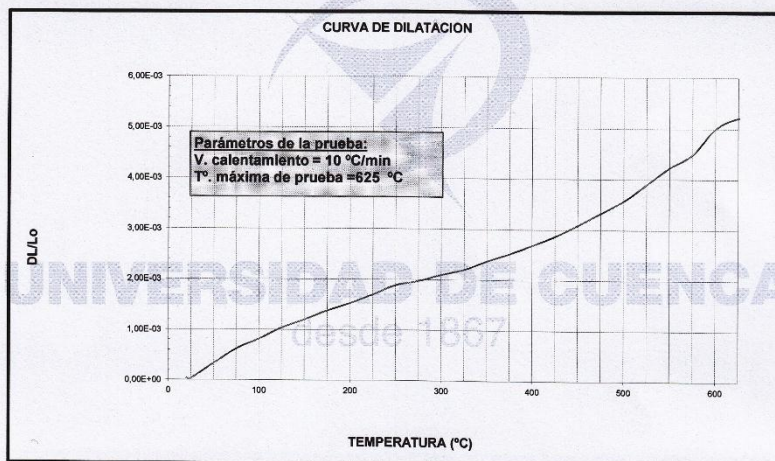
FECHA: 2015-04-09

CODIGO CESEMIN: MG0664


TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA:		
20 a 325 °C	7,213E-06 /°C	0,2200%
20 a 500 °C	7,444E-06 /°C	0,3573%
20 a 600 °C	8,616E-06 /°C	0,4997%


METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:


 RESP. ANÁLISIS


 DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-665 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 5

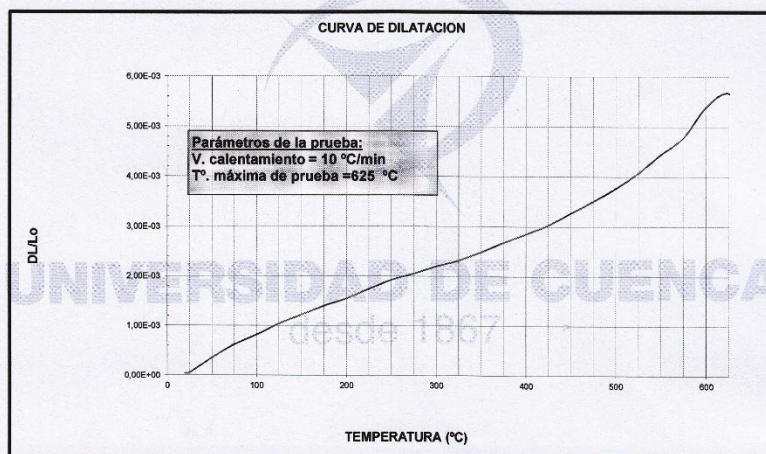
FECHA: 2015-04-10

CODIGO CESEMIN: MG0665

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA:		
20 a 325 °C	7,607E-06 /°C	0,2320%
20 a 500 °C	7,860E-06 /°C	0,3773%
20 a 600 °C	9,305E-06 /°C	0,5397%

METODO: CESEMIN 092:C009




OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS



DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-668 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 6

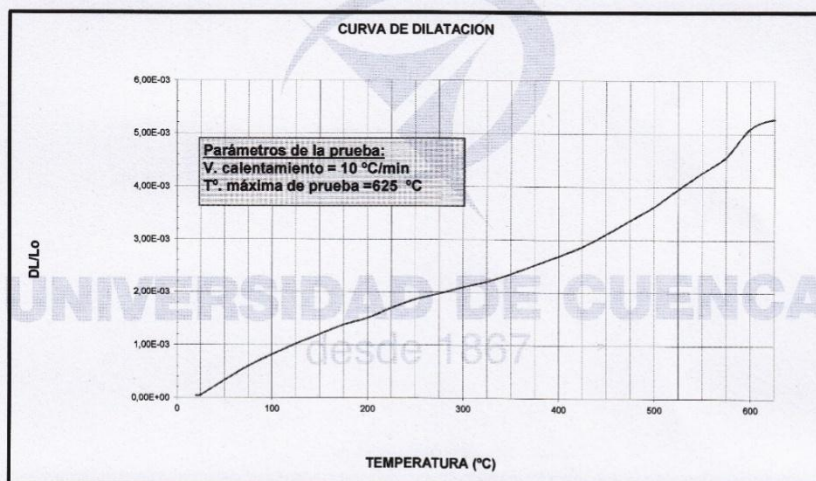
FECHA: 2015-04-13

CODIGO CESEMIN: MG0668

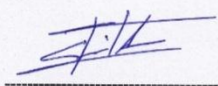
TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

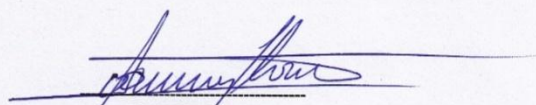
COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	7,213E-06	/°C	0,2200%
20 a 500 °C	7,569E-06	/°C	0,3633%
20 a 600 °C	8,788E-06	/°C	0,5097%


METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:


 RESP. ANÁLISIS


 DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-669 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 7

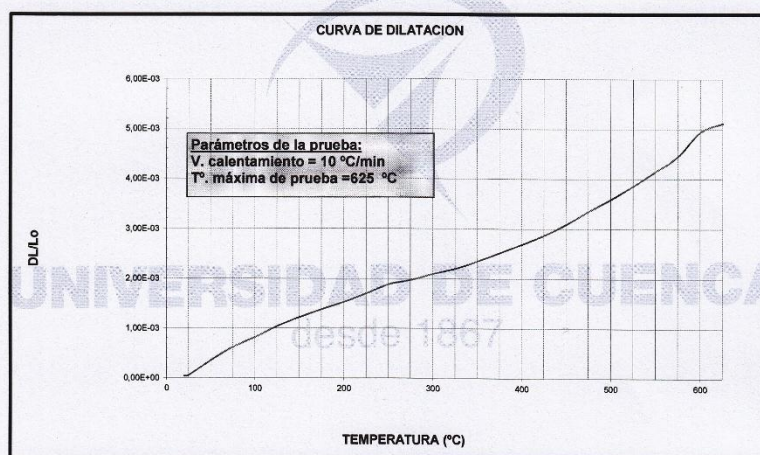
FECHA: 2015-04-13

CODIGO CESEMIN: MG0669

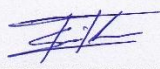
TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

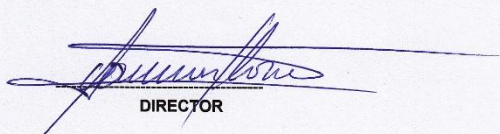
COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	7,213E-06	/°C	0,2200%
20 a 500 °C	7,485E-06	/°C	0,3593%
20 a 600 °C	8,512E-06	/°C	0,4937%


METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:


 RESP. ANÁLISIS


 DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-670 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 8

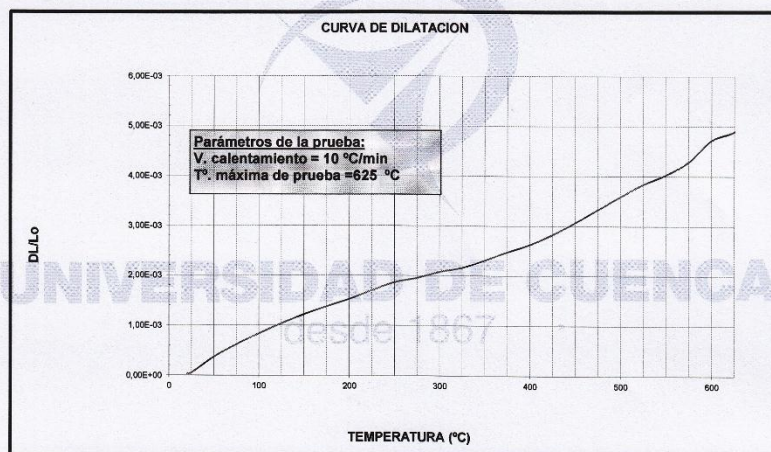
FECHA: 2015-04-13

CODIGO CESEMIN: MG0670


TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	7,082E-06 /°C	0,2160%
20 a 500 °C	7,485E-06 /°C	0,3593%
20 a 600 °C	8,133E-06 /°C	0,4717%

METODO: CESEMIN 092.C009



OBSERVACIONES:


 RESP. ANÁLISIS


 DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-671 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 9

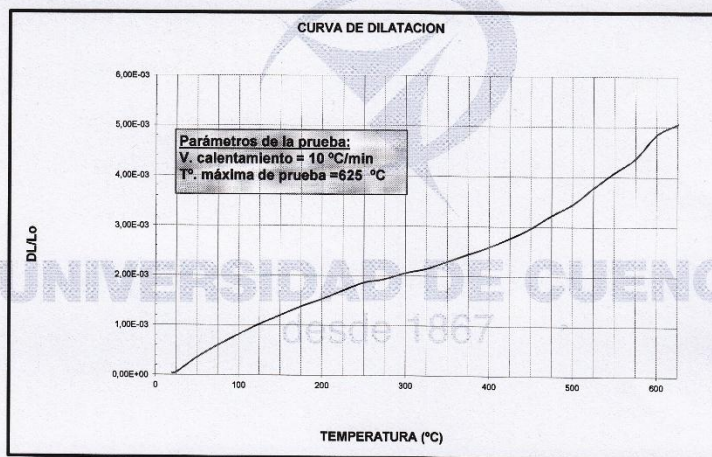
FECHA: 2015-04-14

CODIGO CESEMIN: MG0671

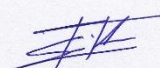
TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	7,016E-06 /°C	0,2140%
20 a 500 °C	7,194E-06 /°C	0,3453%
20 a 600 °C	8,340E-06 /°C	0,4837%

METODO: CESEMIN 092.C009




OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS



DIRECTOR

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-672 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: DE 10

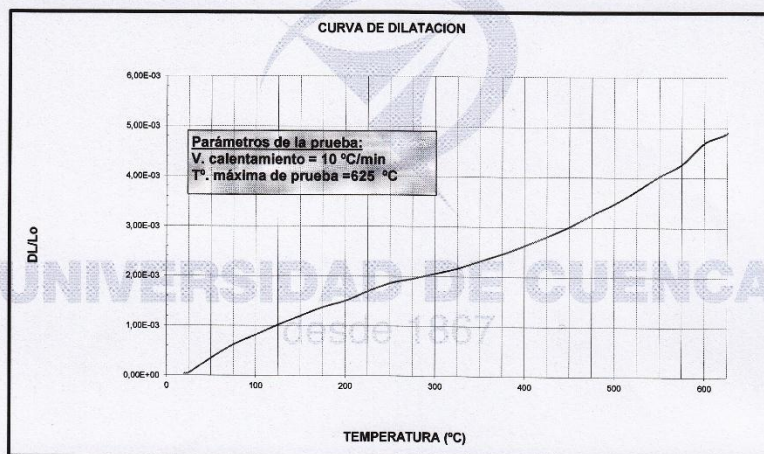
FECHA: 2015-04-14

CODIGO CESEMIN: MG0672

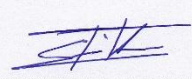
TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

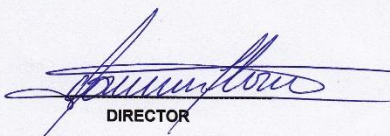
COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	7,082E-06	/°C	0,2160%
20 a 500 °C	7,235E-06	/°C	0,3473%
20 a 600 °C	8,098E-06	/°C	0,4697%

METODO: CESEMIN 092:C009




OBSERVACIONES:


 RESP. ANÁLISIS


 DIRECTOR

ANEXO 2.9 REPORTE DE DILATOMETRÍA DE PASTAS DE DISEÑO EXPERIMENTAL MEJORADAS.

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-814 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

MATERIAL: DE 3 M 1.0

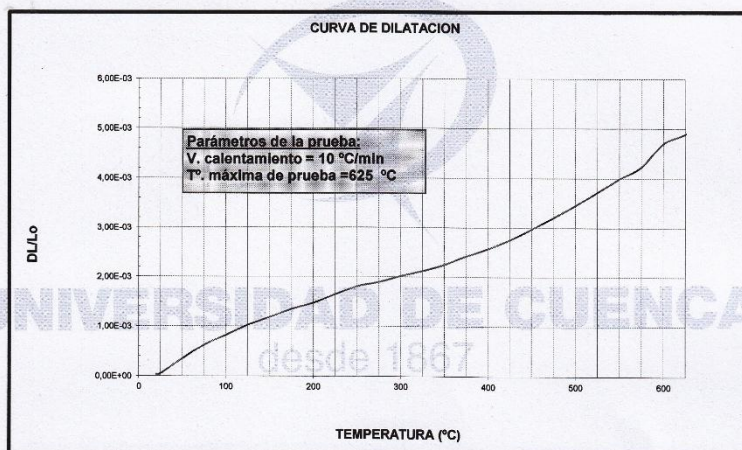
FECHA: 2015-08-26

CODIGO CESEMIN: MG814

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	6,951E-06 /°C	0,2120%
20 a 500 °C	7,194E-06 /°C	0,3453%
20 a 600 °C	8,098E-06 /°C	0,4697%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS




DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC 2303-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
 Cuenca - Ecuador <http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin>

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-813 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

MATERIAL: DE 5 M 0.5

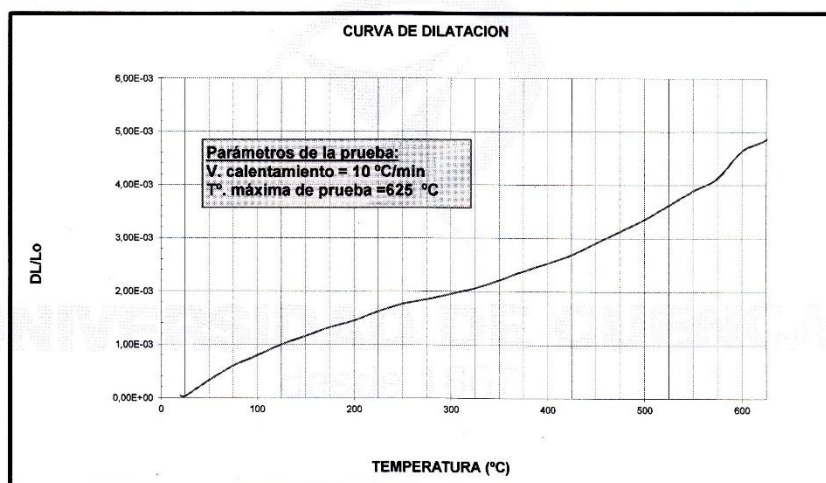
FECHA: 2015-08-26

CODIGO CESEMIN: MG813

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA:		
20 a 325 °C	6,754E-06 /°C	0,2060%
20 a 500 °C	6,985E-06 /°C	0,3353%
20 a 600 °C	7,995E-06 /°C	0,4637%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS


DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC 2303-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador <http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin>

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-812 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

MATERIAL: DE 6 M1.0

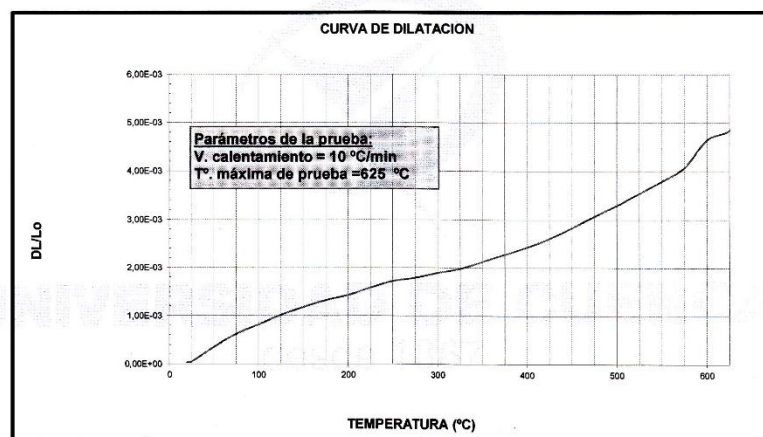
FECHA: 2015-08-26

CODIGO CESEMIN: MG812

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA:		
20 a 325 °C	6,492E-06 /°C	0,1980%
20 a 500 °C	6,860E-06 /°C	0,3293%
20 a 600 °C	7,995E-06 /°C	0,4637%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS



DIRECTOR


Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente. Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC 2303-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador <http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin>

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-811 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

MATERIAL: DE 7 M1.0

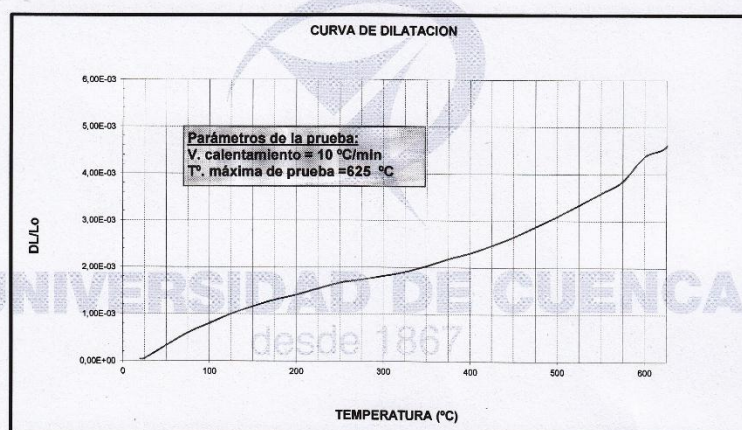
FECHA: 2015-08-26

CODIGO CESEMIN: MG811

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	6,230E-06 /°C	0,1900%
20 a 500 °C	6,444E-06 /°C	0,3093%
20 a 600 °C	7,547E-06 /°C	0,4377%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS




DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC 2303-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador <http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin>

ANEXO 2.10 REPORTE DE LIXIVIACIÓN DE PLOMO EN PASTAS VIDRIADAS CON EFA-80

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS	Nº RMG-827-830 Hoja 1 de 1
---	------------------------------	-------------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS
MUESTRAS: TEJAS VIDRIADAS EN POLVO
FECHA: 2015-09-15

ANÁLISIS QUÍMICO

MUESTRA	PLOMO mg/kg
DE 7 AT	0,67
DE 7 BT	0,56
DE 5 BT	0,98
DE 5 AT	0,06

OBSERVACIONES:

1. Método: Lixiviación ácida (pH 5) y Absorción Atómica,
2. Fecha de recepción de muestra 2015-08-31


Responsable Área Metales


Directora CESEMIN

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este el informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01

Universidad de Cuenca, sector Balzain - Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>



ANEXO 2.11 REPORTE DE FLEXION DE TEJAS CON NUEVA DOSIFICACIÓN VIDRIADAS CON EFA-80 Y A5 CT-8200

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
A-B	Teja artesanal bizcochada
A-C	Teja artesanal vidriada con Chi-Vit
A-E	Teja artesanal vidriada con EFA-80
SM-B	Teja semi-mecanizada bizcochada
SM-C	Teja semi-mecanizada vidriada con Chi-Vit
SM-E	Teja semi-mecanizada vidriada con EFA-80



Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Laboratorio de Construcciones y aplicaciones bioclimáticas

Cuenca, Azuay

Informe No LCAB-FAU-2015-0004-L

Cuenca, 06 de noviembre 2015

En referencia al memorando No. UC-FAU-2015-0438-M, del día 31 de julio de 2015, en donde se autoriza el uso del laboratorio.

Informe

Que las Srtas, Nataly Álvarez Delgado Cl. 0106523269 y Marcela Chacho Uyaguari Cl. 0105629471, han realizado los ensayos de rotura de muestras para el Proyecto "Alternativas para la sustitución de óxido de plomo en el Vidriado de tejas".



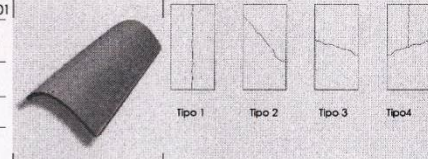
Los días de ensayo corresponden al 07, 08 del mes de septiembre y el 13 y 14 de octubre del presente año, con un total de 45 diferentes muestras ensayadas con la máquina para ensayos de compresión y flexión, ACCU-TEK touch 350, mediante la norma ASTM C-39; AASHTO T-22, y capacidad de 1,555 kN (350.000,00 lbf).

Para que conste donde sea oportuno firmo la presente el día 11 de noviembre de 2015, y se adjunta el resultado de los ensayos.

Edison Castillo C.

Registro.7526 R-15-25780

Técnico Docente;

	ENSAYOS DE FLEXIÓN SOBRE TEJAS			Número:	0001	
				Fecha de creación:	15/11/06	
				Fecha de revisión:		
				Año lectivo:	2015-2016	
Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca						
Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas						
Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350.					Serie: 1411000473	

Proyecto: Alternativas para la sustitución de oxidó de plomo en el vallado de tejas
Solicitado por: Ing. Sander Catalán Peñalverera Palacios

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD ENSAYO (días)	PESO W (g)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	AREA APROX. (cm ²)	P. VOLU. (kg/m ³)	C. DE ROTURA (kg)	F. DE ROTURA (kg/cm ²)	CODIGO	HORA	TIPO	Temperatura (°C)	Humedad relativa %	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
25-ago-15	08-sep-15	14	65,19	28,20	15,00	423	5	36	0,085	A-B01	09:30	1	17,65	56,90		Edison Castillo C.
25-ago-15	08-sep-15	14	665,29	28,30	15,20	430	55	35	0,081	A-B02		1	17,70	57,20		
25-ago-15	08-sep-15	14	623,59	28,40	15,50	440	50	32	0,073	A-B03		3	17,80	57,40		
25-ago-15	08-sep-15	14	589,99	28,20	15,00	423	49	15	0,035	A-B04		3	17,90	57,50		
25-ago-15	08-sep-15	14	645,69	28,20	15,00	423	54	30	0,071	A-B05		3	18,10	57,60		
05-oct-15	13-oct-15	8	973,30	32	17,10	547	56	103	0,188	SM-C1	09:30	1	17,55	51,10		
05-oct-15	13-oct-15	8	968,20	31,8	17,50	557	55	97	0,174	SM-C2		1	17,60	51,30		
05-oct-15	13-oct-15	8	937,70	32	17,00	544	54	99	0,182	SM-C3		1	17,80	51,40		
05-oct-15	13-oct-15	8	945,10	32,1	17,00	546	54	78	0,143	SM-C4		3	17,90	52,45		
05-oct-15	13-oct-15	8	947,50	32	17,10	547	54	101	0,185	SM-C5		1	18,20	52,60		
05-oct-15	13-oct-15	8	925,10	32	17,00	544	53	149	0,274	SM-C6	10:45	1	18,30	52,95		
05-oct-15	13-oct-15	8	967,60	31,9	17,00	542	56	69	0,127	SM-C7		3	18,40	53,00		
05-oct-15	13-oct-15	8	957,90	32	17,00	544	55	77	0,142	SM-C8		3	1845,00	53,05		
05-oct-15	13-oct-15	8	931,80	32	16,90	541	54	86	0,159	SM-C9		1	18,56	53,10		
05-oct-15	13-oct-15	8	962,10	32	17,00	544	55	128	0,235	SM-C10		3	18,60	53,20		

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150



NATALY ALVAREZ D.
MARCELA CHACHO U.



Revisão: Alterações pontuais no item do grupo de alunos de atendimento - R-1001
 Revisão por: Ing. Renato Antônio Falcão Neto, R-1001

[illegible]

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150

Age Group	Percentage
18-29	85%
30-49	80%
50-69	75%
70+	70%

ABLE

tillo C.

[illegible]

Bibliografía

- Anónimo. (s.f.). *Tema 15. Vitrificación*. . Obtenido de UNIOVI:
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema6.MaterialesCERAMICOS.Vitrificacion.pdf>
- Bernal, C. E. (2003). *Análisis próximo de arcillas para cerámica*. Colombia.
- BRUGUERA, J. (1986). *Manual práctico de cerámica*. Barcelona: Omega, S.A.
- Conceptos básicos en análisis químicos. (2011). En *Análisis químico* (págs. 3-8). Murcia.
- Devore, J. L. (2008). *Probabilidad y Estadística par Ingenieros y ciencias*. California Polytechnic State University, San Luis Obispo: Cengage learning.
- Espectroscopía de absorción atómica*. (s.f.). Obtenido de Laboratorio de Técnicas Instrumentales:
<http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopa-de-absorcin-atmica>
- FERNANDEZ, G. (Mayo de 2012). *Extracción*. Obtenido de
<http://www.quimicaorganica.net>
- GUTIERREZ, H., & SALAZAR, R. d. (2008). *Análisis de diseño de experimentos* (Segunda ed.). México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- H., N. F. (1968). *Cerámica Fina*. Barcelona: OMEGA, S.A.
- Hoja de seguridad: Oxido de plomo*. (s.f.).
- HYPALIT. (s.f.). *Características de Tejas Cerámicas*. Obtenido de
<http://www.tejaceramica.com>
- Ingeniería, R. A. (s.f.). Deslamado.
- Kuehl, R. O. (s.f.). *Diseño de experimentos* (Segunda ed.). Arizona: Thomson Editores, S.A.
- Límites de Atterberg: Plasticidad*. (s.f.). Obtenido de Apuntes de Ingeniería Civil: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/11/normal-0-false-false-false.html>
- MENÉNDEZ, G., BONAVENTI, V., & IRASSAR, E. (2008). Los Diseños de Experimentos . *Revista de la Construcción*.
- Normalización, I. E. (1984). *Tejas cerámicas. Requisitos - INEN 990*. Quito, Ecuador.
- Norton, F. H. (1983). *Cerámica Fina: Tecnología y Aplicaciones*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- Peñaherrera, C. (2013). *Vidriados o barnices cerámicos*. Universidad de Cuenca, Cuenca.

- Peñaherrera, C. (2013). Vidrios obarnices cerámicos. *Tecnología Cerámica*. Cuenca.
- RAZMILIC, B. (s.f.). *Espectroscopia de Absorción Atómica*. Obtenido de Depósito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org>
- Sagar, P. (Junio de 2007). *Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR*. India.
- SINGER, F. Y. (1979). *Ceramica Industrial* (Vol. II). España: URMO, S.A.
- SINGER, F., & SINGER, S. (1971). *Enciclopedia de la Cerámica Industrial*. Bilbao: Ediciones Urmo.
- Singer, F., & Singer, S. S. (1979). *Ceramica Industrial* (URMO. S.Ade Ediciones ed., Vol. 1). (S. S.Singer, Ed., & J. D. Sanz, Trad.) Londres, England: Chapman & Hall Ltd. Londres.
- Soporte de Minitab 17: ¿Qué es un diseño de vértices extremos?* (2015). Obtenido de Support Minitab: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/doe/mixture-designs/what-is-an-extreme-vertices-design/>
- Statistical Discovery: The Extreme Vertices Design*. (s.f.). Obtenido de Statistical Discovery: http://www.jmp.com/support/help/The_Extreme_Vertices_Design.shtml
- TEJAS CERAMICAS. (s.f.). Obtenido de TEJAS CERAMICAS: http://www.tejaceramicahdr.com/pdf/terminologia_tejas.pdf
- VAZQUEZ, E. D. (2011). *Materiales cerámicos. Propiedades y aplicaciones y elaboración*.
- VIELHABER, L. (1961). *Tecnología de los esmaltes*. Barcelona: REVERTE, S.A.
- Vizcarra, A. (04 de Julio de 2014). *Saturnismo o Plumbismo*. Obtenido de SCRIBD: <http://es.scribd.com>